

UNIVERSIDAD MILITAR

NUEVA GRANADA



EVALUACIÓN DE LA ETAPA DE LEVANTE DE CARPA COMÚN (*Cyprinus carpio*) EN SISTEMAS CERRADOS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA

JESUS ARMANDO CARRASCAL RESTREPO

**Trabajo de Grado para optar al título de
BIÓLOGO APLICADO**

DIRECTOR

HERNÁN HURTADO GIRALDO BSc PhD.

CODIRECTOR

EDWIN GÓMEZ RAMÍREZ

ESPECIALISTA EN ACUICULTURA CONTINENTAL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

PROGRAMA DE BIOLOGÍA APLICADA

BOGOTÁ

2011

DEDICATORIA

A Jesucristo, mis padres y a mi hermana,
por la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A Hernán Hurtado Giraldo, PhD; Edwin Ramírez, Especialista en Acuicultura Continental; Compañeros de Laboratorio, Don David, Beatriz Restrepo y Rosa Rada.

TABLA CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. OBJETIVOS.....	3
4. MARCO TEÓRICO.....	4
4.1 Acuicultura.....	4
4.1.1 Acuicultura en Colombia.....	4
4.1.2 Clasificación de la acuicultura.....	5
4.2 Carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>).....	6
4.2.1 Ecología.....	7
4.2.2 Morfología.....	7
4.2.3 Condiciones físico – químicas del agua para el cultivo de carpa.....	8
4.2.4 Comercio de carpa común	8
4.2.5 Algunos ejemplos de producción de dedinos de carpa en estanque...	9
4.3 Sistemas cerrados de recirculación de agua.....	11
4.3.1 Componentes de un SCRA.....	13
4.3.2 Supervisión y control de los parámetros físico - químicos del agua.....	16
4.3.3 Alimentación y Enfermedades.....	19
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
5.1 Diseño de SCRA.....	20
5.2 Diseño experimental.....	22
5.3 Parámetros Físico-químicos.....	23
5.4 Variables de crecimiento.....	23
5.5 Parámetros productivos.....	24
5.6 Alimentación.....	24
5.7 Mantenimiento de los SCRA.....	25
5.8 Análisis Estadístico.....	25
6. RESULTADOS.....	26
6.1 Diseño de los SCRA.....	26
6.2 Análisis Físico – Químico del agua.....	27
6.3 Crecimiento.....	31
6.4 Parámetros productivos.....	34
7. DISCUSIÓN.....	35
8. CONCLUSIONES.....	43
9. RECOMENDACIONES.....	43
10. BIBLIOGRAFÍA.....	44

LISTA DE TABLAS, GRÁFICAS, FIGURAS E IMÁGENES

Tabla 1. Producción de Acuicultura en Colombia	Pág. 5
Tabla 2. Resultados de producción de carpas a diferentes densidades	10
Tabla 3. Crecimiento de <i>C. carpio</i> en policultivo con carpa plateada y carpa herbívora en estanque	11
Tabla 4. Agua usada por kilogramo de producción de los productos de acuicultura	12
Tabla 5. Parámetros químicos de la calidad de agua de M1 en el levante de <i>C. carpio</i> en SCRA. Concentración de TAN ($\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$), Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-) en mg/l. Los espacios en blanco indican que no se tomo el dato	27
Tabla 6. Parámetros físico – químicos de la calidad de agua de M1 en el levante de <i>C. carpio</i> en SCRA. Concentración de oxígeno (O_2), alcalinidad (KH), dureza (GH) en mg/l, y temperatura (T) en grados Celsius. Los espacios en blanco indican que no se tomo el dato	28
Tabla 7. Parámetros químicos de la calidad de agua de M2 en el levante de <i>C. carpio</i> en SCRA. Concentración de TAN ($\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$), Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-) en mg/l. Los espacios en blanco indican que no se tomo el dato	29
Tabla 8. Parámetros físico – químicos de la calidad de agua de M2 en el levante de <i>C. carpio</i> en SCRA. Concentración de oxígeno (O_2), dureza (GH) en mg/l, y temperatura (T) en grados Celsius	29
Tabla 9. Parámetros químicos de la calidad de agua de M2 en el levante de <i>C. carpio</i> en SCRA. Alcalinidad (KH) en mg/l	30
Tabla 10. Promedio inicial y final de las variables de crecimiento de <i>C. carpio</i> en SCRA para cada uno de los tanques de M1 y M2. LE: longitud estándar, LT: longitud total, M: montaje. Valores con letras iguales no difieren significativamente ($P > 0,05$)	31

Tabla 11. Promedio total de las variables de crecimiento de M1 y M2, y resultados de la prueba de T. LE: longitud estándar, LT: longitud total, M: montaje. Valores con letras iguales no difieren significativamente ($P>0,05$)	31
Tabla 12. Modelos de crecimiento evaluados en base a tres variables de crecimiento de <i>C. carpio</i> cultivados en SCRA. R^2 : coeficiente de determinación, LE: longitud estándar, LT: longitud total, M: montaje	33
Tabla 13. Parámetros productivos del crecimiento de <i>Cyprinus carpio</i> en SCRA para cada uno de los tanques de M1 y M2, y resultados de la prueba T entre el promedio de los parámetros productivos de M1 Y M2. LE: longitud estándar, LT: longitud total, M: montaje. Valores con letras iguales no difieren significativamente ($P>0,05$)	34
Tabla 14. Comparación del cultivo de carpa en SCRA y estanque	38
Figura 1. Características externas de la morfología de una carpa	7
Figura 2. Representación de las 4 zonas de un clarificador	15
Figura 3. Prototipo de SCRA. Donde A: tanque de peces, B: biofiltro, C: clarificador, D: filtro mecánico, E: bomba de agua. Las flechas verdes indican la dirección del agua a través del sistema	22
Grafica 1. Curva típica del comportamiento de la concentración de amonio total (TAN), nitrito y nitrato en el establecimiento de las bacterias en el biofiltro	15
Grafica 2. Crecimiento en peso de <i>C. carpio</i> en SCRA. El trazo punteado representa la línea de tendencia exponencial	32
Grafica 3. Crecimiento en longitud estándar de <i>C. carpio</i> en SCRA. El trazo punteado representa la línea de tendencia exponencial	32
Grafica 4. Crecimiento en longitud total de <i>C. carpio</i> en SCRA. El trazo punteado representa la línea de tendencia exponencial	33

Imagen 1. Diseño de SCRA construido. Donde A: tanque de peces, B: biofiltro, C: clarificador, D: filtro mecánico 26

Imagen 2. Detalles del diseño de SCRA construido. Donde A: Biofiltro, B: filtro mecánico, C: clarificador y D: paquetes del biofiltro 26

RESUMEN

La carpa común (*Cyprinus carpio*) es una especie con alto valor comercial e investigativo a nivel mundial. Los alevinos de carpa son generalmente cultivados en estanque con densidad de siembra relativamente baja y presentando altas tasas de mortalidad. En los sistemas cerrados de recirculación de agua (SCRA) es posible aumentar la densidad de siembra, debido a que permiten controlar varios parámetros físico-químicos e incluso acondicionarlos para una especie en particular. Así mismo, presentan otras ventajas como lo es aumentar la eficiencia en el uso del agua, del alimento y el espacio, permitiendo obtener altas tasas de supervivencia. En este trabajo se evaluó el crecimiento de *C. carpio* en un SCRA. Se hicieron dos montajes M1 y M2, cada uno con 5 repeticiones y con una duración de 12 semanas de cultivo. Cada montaje consistía de 5 SCRA iguales en los cuales se cultivaron 500 alevinos de carpa común, 100 alevinos por sistema, con un peso inicial de $1,37 \pm 0,27$ g/ind. Las variables de crecimiento evaluadas fueron peso, longitud estándar y longitud total, con las cuales se calcularon parámetros productivos y se evaluaron tres modelos de crecimiento. También se hizo supervisión y control de los parámetros físico-químicos del agua. Los resultados del análisis estadístico indicaron que hubo diferencias significativas en el crecimiento de M1 y M2. Los peces de M1 alcanzaron un peso promedio de $6,13 \pm 2,00$ g, longitud estándar $5,7 \pm 0,7$ cm y longitud total $7,1 \pm 0,8$ cm mientras en M2 alcanzaron un peso de $10,22 \pm 3,39$ g, longitud estándar $6,6 \pm 0,7$ cm y longitud total $8,2 \pm 0,8$ cm. El peso se ajustó de mejor manera al modelo exponencial en M1 y M2, y longitud estándar y total se ajustaron de manera similar al los modelos exponencial y lineal. El ajuste al modelo potencial determinó que el crecimiento de *C. carpio* fue de tipo isométrico.

Palabras clave: *Cyprinus carpio*, Sistemas cerrados de recirculación de agua, variables de crecimiento, parámetros físico - químicos del agua.

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una de las mayores oportunidades económicas en este milenio debido al continuo aumento de la población, a la reducción de los recursos acuáticos naturales y al potencial que tiene la acuicultura en suplir las necesidades (Pérez *et al.* 2001; Timmons *et al.* 2002; FAO 2009). Este sector de la agricultura sigue creciendo más rápido que cualquier otro sector de producción de alimentos de origen animal, la contribución de la acuicultura al suministro mundial de pescado, crustáceos, moluscos y otros animales acuáticos ha seguido aumentando, y ha pasado de un 3,9 % de la producción total en peso en 1970 a un 36,0 % en 2006 (FAO 2009). En el mismo período, el suministro acuícola per cápita pasó de 0,7 kg a 7,8 kg, lo cual supone un crecimiento medio anual del 7,0 % (FAO 2009).

Para el 2006 la acuicultura proporcionó el 47 % del suministro mundial de pescado para alimentación, y mientras la producción de la pesca de captura cesó de crecer a mediados de la década de 1980, el sector acuícola ha mantenido una tasa de crecimiento medio anual del 8,7 % en todo el mundo desde 1970, por esto, se espera que la acuicultura supere a la pesca de captura como fuente de pescado para consumo humano (FAO 2009).

Los peces son el grupo con mayor cantidad de especies cultivadas y éstas representan el 48,1% de la producción total de acuicultura mundial, seguida por los plantas acuáticos, los moluscos, crustáceos, anfibios y reptiles (Tacon & Hasan 2007). Entre las familias de peces mayormente cultivados por volumen se encuentran los Ciprínidos (carpas) con el 64,5% del total mundial en el 2005, seguido de la tilapia y otros Cíclidos (Tacon & Hasan 2007).

C. carpio pertenece a la familia de los Ciprínidos lo que la hace una especie de gran interés en el campo de la investigación (Fishbase 2009; FAO 2010). Puede ser vendida como pez ornamental o de consumo (Horvâth *et al.* 2002), por lo tanto goza de una considerable demanda en los mercados de países del oriente de Europa y Asia (FAO 2010). Dado que es una especie de hábitos omnívoros los requerimientos alimenticios no son tan exigentes (Horvâth *et al.* 2002); tolera una amplia variedad de condiciones ambientales como temperatura, pH y dureza del agua lo que ha permitido su amplia distribución por todo el mundo y su posible manejo en diversos sistemas de producción acuícola (Fishbase 2009; FAO 2010).

En Colombia la producción de carpa ha sido baja en comparación a la explotación de otros organismos como la tilapia, la cachama y los langostinos. Sin embargo, la importancia económica e investigativa que tiene la carpa y la creciente demanda de ésta y otras especies a nivel nacional e internacional (FAO 2010), supone un futuro prometedor para la producción de este pez en nuestro país.

El incremento en la demanda de productos del sector acuícola ha generado la necesidad de incorporar nuevas tecnologías, con la capacidad de aumentar la eficiencia del cultivo de organismos acuáticos (FAO 2010; Casas 2008). En Colombia comúnmente se utilizan sistemas de producción extensivos o semi-intensivos que toleran densidades no mayores a 1 – 2.5 pez/m² (Anzola *et al.* 2001). Cuando el productor quiere incrementar su producción aumentando la densidad de cultivo, se enfrenta con un conjunto de factores limitantes tales como: falta de oxígeno disuelto y la acumulación de sustancias tóxicas, producto del metabolismo de los peces, que pueden llegar a causarles la muerte (Masser *et al.* 1999; Anzola *et al.* 2001; Casa 2008).

Para dar solución a dichos problemas, en la acuicultura se empezó a utilizar hace más de tres décadas los sistemas cerrados de recirculación de agua (SRCA) (Timmons *et al.* 2002). Esta tecnología provee los medios para tratar el agua contaminada del sistema, purificándola y devolviéndola al mismo, con un contenido menor de contaminantes (Timmons *et al.* 2002; Casas 2008), además, en estos sistemas es posible suministrar oxígeno y controlar algunos parámetros físico - químicos del agua (Timmons *et al.* 2002). Gracias a esto los SCRA han obtenido buenos resultados en el aumento de las densidades de producción de peces (Timmons *et al.* 2002; Casas 2008).

Los SCRA se perfilan como una gran alternativa en la acuicultura debido a varias características, entre ellas se encuentran: primero, se puede aumentar la densidad de siembra; segundo, disminuyen el consumo de agua; tercero, aumentan la eficiencia en el uso del espacio; y cuarto, permiten generar un suministro de producto constante y de buena calidad (Timmons *et al.* 2002).

2. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de recirculación de agua son una valiosa alternativa para la producción de peces en el sector acuícola. Esta tecnología ha abierto la posibilidad de cultivar para aquellos que no cuentan con acceso a grandes cantidades de agua y espacio, con densidades de siembra hasta 50 veces más de lo acostumbrado y con tasas de supervivencia altas. Así mismo, ha permitido desarrollar la acuicultura casi en cualquier clima y cerca a los centros de consumo e incluso en los mismos, disminuyendo de esta manera el costo del transporte. Debido al amplio rango de tolerancia que presenta *Cyprinus carpio* a diversas condiciones ambientales a su valor investigativo y comercial, el Grupo de Ictiología de la Universidad Militar Nueva Granada por medio de este trabajo de grado, pretende evaluar el levante de *Cyprinus carpio* en sistemas cerrados de recirculación de agua determinando la cinética de crecimiento y supervivencia, y al mismo tiempo, llevando un control de las condiciones físico - químicas del agua con el fin de determinar el desempeño de los sistemas. Estos datos aportarán información para realizar futuros trabajos en cultivos de peces de interés comercial a mayor escala, así como para otros proyectos como acuaponía, realizados por el mismo grupo de investigación.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el levante de carpa común (*Cyprinus carpio*) en sistemas cerrados de recirculación de agua determinando la cinética de crecimiento y supervivencia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el crecimiento en longitud, peso y biomasa acumulada de *C. carpio* en dicho sistema.
- Determinar la supervivencia de *C. carpio* en el sistema.
- Analizar los parámetros productivos de *C. carpio* en el sistema.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Acuicultura

La acuicultura hace referencia al conjunto de actividades relacionadas al cuidado y comercialización de organismos acuáticos incluyendo plantas y animales (peces, crustáceos, moluscos, anfibios, reptiles y algas) (Anzola *et al.* 2001). El origen de la acuicultura se remonta al siglo V antes de Cristo en China, de donde provienen los primeros testimonios que describen el cultivo de las carpas, tanto para fines ornamentales como alimenticios (Anzola *et al.* 2001).

4.1.1 Acuicultura en Colombia

En Colombia la acuicultura comenzó¹ a finales de 1930 cuando se introdujo al país la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* para el repoblamiento de las aguas de uso público en la zona andina (Anzola *et al.* 2001). Más adelante, ingresó la mojarra *Oreochromis mossambicus* y la carpa *Cyprinus carpio*, con las cuales se desarrollaron las primeras experiencias de cultivo en estanques pero con resultados no muy satisfactorios (Anzola *et al.* 2001).

En nuestro país han existido diferentes institutos encargados de representar y administrar al sector pesquero y acuícola. De 1968 a 1990 el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA), de 1990 a 2003 el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA), de 2003 a 2007 el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER) (FAO 2003), de 2007 a 2009 el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (ICA 2009b), y en la actualidad las funciones de administración pesquera y acuicultura pasaron nuevamente al INCODER (Sandoval 2010). Este último instituto tiene como objetivo fortalecer la actividad pesquera y acuícola mediante la investigación, el ordenamiento, la administración y regulación de este sector (INCODER 2010).

¹ El comienzo de la Acuicultura se refiere al inicio del cultivo de organismos acuáticos haciendo uso de técnicas profesionales. No implica entonces, que antes no se hiciera acuicultura, sino que a partir de este momento, se utilizan herramientas más sofisticadas.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos que se han hecho por desarrollar políticas que apoyen al sector acuícola del país, aun persiste la falta de organización y de estadísticas pesqueras, además se evidencia un bajo apoyo en la investigación. Todas estas falencias dificultan el desarrollo de este importante sector productivo.

En la tabla 1 se presenta un historial de las especies mas cultivadas en Colombia desde 1992 hasta el 2006. La tilapia y los langostinos son los cultivos que más toneladas de producto han generado en contraste con las ostras y la carpa, que presentan baja producción (ICA 2009a).

Tabla 1. Producción de Acuicultura en Colombia. Unidad: toneladas

Especie	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Bocachico					3	318	1.203	1.311	1.474	2.061	2.065	2.331	2.447	2.545	
Cachama	2.100	3.500	4.020	3.181	6.154	12.131	12.335	13.445	6.511	6.923	7.873	7.720	7.124	6.768	17.415
Carpa					83	285	795	866	877	787	418	666	679	686	
Tilapia	11.050	11.046	11.084	16.057	14.025	16.112	18.204	19.842	10.176	11.991	15.224	17.815	24.307	27.953	23.146
Trucha	1.300	2.028	1.495	3.181	4.506	7.823	6.481	7.065	2.254	2.049	1.931	2.997	3.933	4.079	2.416
Langostinos	9.432	7.327	8.944	8.091	5.221	6.907	7.466	9.228	10.000	10.939	15.103	16.503	18.040	19.303	21.600
Ostras					10		15	16	18	10	6				

(Tomado de ICA 2009a)

4.1.2 Clasificación de la acuicultura

La acuicultura se puede clasificar según la densidad del cultivo, grado de intervención que tenga el hombre sobre los ciclos biológicos y productivos del organismo bajo cultivo, tecnología empleada y cantidad de alimento artificial o natural que se aporta al medio (Anzola *et al.* 2001).

- Acuicultura extensiva

Esta se destina a la repoblación y aprovechamiento de cuerpos de agua tales como embalses o represas naturales o artificiales, en donde la acción del hombre se limita exclusivamente a la siembra a baja intensidad (menos de 1 pez/m²) y cosecha de una o varias especies (Anzola *et al.* 2001; Vásquez 2004).

No se realiza ningún tipo de manejo como la fertilización del agua, el único alimento es el producido naturalmente y la renovación del agua depende de las características del medio (Anzola *et al.* 2001).

- Acuicultura semi-intensiva

Esta se realiza en estanques o reservorios contruidos por el hombre y se utilizan técnicas de manejo tales como: siembra de peces a una densidad de 1 a 2,5 peces / m², fertilización del estanque, preparación esporádica de los estanques, alimentación con residuos agrícolas y domésticos (Anzola *et al.* 2001; Vásquez 2004).

- Acuicultura intensiva

En este tipo de sistemas se utilizan jaulas o estanques técnicamente contruidos con entrada y salida de agua en donde todos los parámetros físico-químicos de calidad de agua son supervisados, depende específicamente del suministro de alimento concentrado de alto valor proteico, las densidades de cultivo utilizadas son relativamente altas (2,5 a 50 peces/m²) y requiere de alta tecnología para manejo de flujos de agua y sistemas de aireación (Anzola *et al.* 2001; Vásquez 2004). En estos sistemas los costos de instalación y mantenimiento son altos, pero es posible superar la inversión realizada gracias a que en estos sistemas se puede lograr una mayor producción de peces en una superficie menor y en menos tiempo (Anzola *et al.* 2001; Vásquez 2004).

4.2 Carpa común (*Cyprinus carpio*)

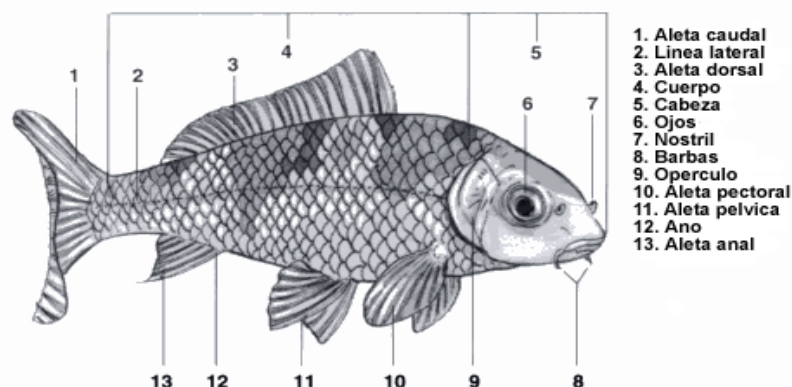
La carpa fue posiblemente una de las primeras especies dispersadas por el hombre, se cree que es originaria del oriente de Asia y que se disperso naturalmente por china y Siberia (Billard 1999). Esta, ha sido introducida en muchos continentes con fines de cultivo desde 1870 y fue utilizada también en china en la década de 1920 y 1960 para la eliminación de macrófitas y microalgas (Billard 1999).

4.2.1 Ecología

En la naturaleza la carpa tiene hábitos bentónicos y pelágicos de agua dulce, toleran una amplia variedad de condiciones, pero se ven favorecidas por cuerpos de agua con corrientes lentas o quietas y con un fondo lodoso (Yilmaz *et al.* 2005; Fishbase 2009; FAO 2010). Son omnívoras, pueden comer insectos acuáticos, crustáceos, anélidos, moluscos, plantas acuáticas, algas y semillas (Horvâth *et al.* 2002). Las que habitan en estanques se alimentan de organismos del bentos y cuando estos están escasos pueden alimentarse del zooplankton de la superficie del agua (Billard 1999; Horvâth *et al.* 2002). Los Ciprínidos no tienen dientes en las mandíbulas pero algunas especies como *C. carpio* (Nelson 2008) poseen dientes en la faringe (Billard 1999).

4.2.2 Morfología

Figura 1. Características externas de la morfología de una carpa



(Tomado de Blasiola & Bridges 2005)

En la aleta dorsal posee 3 a 4 espinas, 17 a 23 radios; en la aleta anal 2 a 3 espinas, 5 a 6 radios; aleta caudal 3 espinas, 17 a 19 radios; 36 a 37 vertebras; 4 barbas, escamas largas y gruesas. Son muy variadas en forma, tipos de escama, desarrollo de aletas y color (Fishbase 2009).

4.2.3 Condiciones físico – químicas del agua para el cultivo de carpa

La Carpa común tiene una gran capacidad de adaptación y tolera un amplio rango de condiciones ambientales (Billard 1999; Chatterjee *et al.* 2004), los cuales se enumeran a continuación:

- Temperatura: tolerancia 8º a 39º C, óptimo 25º a 30º C (Chatterjee *et al.* 2004; Aston 1981. En Timmons *et al.* 2007).
- pH: tolerancia 5 a 9, óptimo 6 a 8 (Billard 1999, Nelson 2008).
- Dureza: >100 mg/l (Piper *et al.* 1982, Meade 1985, Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007).
- Alcalinidad: 50 a 300 mg/l (Piper *et al.* 1982, Meade 1985, Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007).
- Oxígeno: > 3 a 5 mg/l (Horvâth *et al.* 2002).
- Amonio (TAN): < 2,2 mg/l. (Piper *et al.* 1982, Meade 1985, Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007).
- Nitrito: < 0,1 mg/l (Piper *et al.* 1982, Meade 1985, Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007).
- Nitrato: <400 mg/l (Piper *et al.* 1982, Meade 1985, Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007).

4.2.4 Comercio de carpa común

Cerca del 14% del total de la producción global de acuicultura de agua dulce en 2002 fue ocupado por la producción de carpa común cultivada (FAO 2010). La producción de esta especie aumentó en una tasa promedio global de 9,5 %/año entre 1985 y 2002 (FAO 2010). Esto es mayor que la tasa de expansión de producción de cultivo de otras especies de carpa como la carpa china, carpa plateada y carpa cabezona (FAO 2010). En 2002, las principales áreas productoras de carpa común fueron, Asia 93% y Europa 4,5% (FAO 2010).

La carpa se cultiva generalmente en estanque en policultivo, asociada con otras especies con el fin de aprovechar al máximo la productividad primaria de toda la columna de agua del estanque (Useche 2001. En Anzola *et al.* 2001). Este tipo de policultivo con carpa común es utilizado por la mayoría de productores piscícolas de Colombia que cuentan con limitados recursos hídricos (Useche 2001. En Anzola *et al.* 2001). En nuestro país la carpa común se cultiva tradicionalmente con tilapia, cachama y otras especies de carpa, en donde la tilapia se alimenta de estratos superiores, la cachama de estratos medios y la carpa de estratos inferiores (Useche 2001. En Anzola *et al.* 2001).

Tener la cantidad de semilla requerida, de las especies deseadas y en el momento apropiado, es uno de los primeros factores que llevan al éxito del funcionamiento de la acuicultura (CIFA 2010. En INDG 2010). En los últimos años se ha logrado un notable éxito en mejorar el desove de las carpas, pero la disponibilidad de semilla de tamaño deseado todavía sigue siendo un problema (CIFA 2010. En INDG 2010; FAO 2010; Peteri *et al.* 1992b). Una de las fases críticas en el ciclo de producción de carpa es la etapa de producción de dedinos, ya que esta repercute directamente sobre la talla y el tiempo necesario para obtener peces de talla comercial (Peteri *et al.* 1992b; FAO 2010). Según la FAO (2010) para producir dedinos de carpa de talla pequeña (10 – 20 g) se siembran 40 alevinos de 1,5 cm por metro cuadrado, alcanzando una supervivencia del 20% al 35%. Las altas tasas de mortalidad que se presentan en esta fase, el lento crecimiento y la baja producción de biomasa son los principales factores que preocupan a los productores, lo cual ha hecho necesario el desarrollo de proyectos de investigación para buscar solución a dichos problemas (Peteri *et al.* 1992b; FAO 2010).

4.2.5 Algunos ejemplos de producción de dedinos de carpa en estanque

Alevinos de 0,25 – 0,3 cm (0.3 g) fueron sembrados en estanques a una densidad de 10 - 30 ind/m², alimentados con plancton y concentrados al 5% - 10% del peso corporal (CIFA 2010. En INDG 2010). Al cabo de dos a tres meses se obtuvieron dedinos de 8 – 10 g con una sobrevivencia de 70% - 90% (CIFA 2010. En INDG 2010). En este documento no se especifica la temperatura bajo la cual crecieron los peces. Los dedinos fueron levantados en la India en el estado de Orissa, durante la estación de monzón de junio a agosto. Este es un estado con clima tropical húmedo y seco, que durante estos meses presenta un rango de temperatura ambiente mínima de 24° y máxima 37° C (CIFA 2010. En INDG 2010; IMD 2011).

En Peteri *et al.* (1992a) se evaluaron 4 diferentes densidades de siembra con diferentes especies de carpa con el fin producir 4 tallas en un periodo de 30 – 45 días. Los peces eran sembrados de 0,2 g (1,27 cm), alimentados con plancton y 4 concentrados diferentes a base de torta de aceite de mostaza, salvado de arroz y trigo, sangre de ganado, carne de pescado, lenteja de agua molida. Los resultados del crecimiento son presentados en la Tabla 2. Los dedinos fueron levantados en una ciudad llamada Jessore en Bangladesh. En este documento no se especifica ni la temporada ni la temperatura bajo la cual crecieron lo peces, sin embargo se comenta que la temperatura apropiada para el crecimiento de la carpa es alrededor de los 30° C (Peteri *et al.* 1992a). Bangladesh, que limita al occidente con la India, también presenta un clima tropical húmedo y seco, y Jessore presenta un temperatura anual que oscila entre 12° min y 34° C max, siendo los meses calurosos entre marzo y octubre (WMO 2011a).

Tabla 2. Resultados de producción de carpas a diferentes densidades

Siembra (Ind/m ²)	14	20	30	140
Cosecha (Ind/ m ²)	11,6	16,6	24,9	110,0
Peso final (g)	10	5	3	0,9 – 1,0

(Tomado de Peteri *et al.* 1992a. Traducción propia)

En Peteri *et al.* (1992b), con el fin de mejorar la producción de dedinos de carpa de 10 g (10 cm), se realizaron diferentes cultivos con diferentes combinaciones de especies de carpa. En el caso de la carpa común, esta fue sembrada con un peso inicial de 0,7 g a una densidad de 2 ind/m² junto con carpa herbívora 0,7 g – 6,5 ind/m² y carpa plateada 0,5 g - 4 ind/m², en un estanque de 0,1 ha. Los peces eran alimentados con plancton y con un concentrado (pastel de aceite de mostaza, salvado de arroz y trigo, sangre de ganado, carne de pescado, lenteja de agua molida) al 14,9 % del peso corporal para la carpa común, suministrado en la mañana y en la tarde. La tabla 3 describe el crecimiento de la carpa común en este cultivo. La sobrevivencia de *C. carpio* fue del 91%. El levantes de los dedinos se realizó en el distrito de Natore – Bangladesh durante el periodo de temperaturas bajas entre Septiembre y diciembre (12° min y 32°C máx.), cuando normalmente las prácticas del levante permanecen suspendidas en Bangladesh (Peteri *et al.* 1992b; WMO 2011b). En el documento no se especifica la temperatura bajo la cual crecieron lo peces.

Tabla 3. Crecimiento de *C. carpio* en policultivo con carpa plateada y carpa herbívora en estanque

Días	Peso (g)
0	0,7
8	4,3
19	14,0
27	14,7
45	19,1

(Tomado de Peteri *et al.* 1992b.Traducción propia).

Debido a la importancia que tiene esta especie en la acuicultura de agua dulce, muchos aspectos de su biología han sido estudiados durante décadas. Temas como su fisiología, nutrición, genética y enfermedades han sido motivos de investigación (FAO 2010). A pesar de los grandes avances que se han logrado para mejorar el cultivo y producción de esta especie, aún existen eslabones de la cadena de producción que necesitan ser mejorados. Durante la producción de dedinos, por ejemplo, el crecimiento es lento, se presenta una baja supervivencia y una baja producción de biomasa (Peteri *et al.* 1992b). Estos y otros factores hacen necesaria la introducción y adaptación de tecnologías que sean óptimas para diversas condiciones climáticas, socio-económicas y que a su vez sean más amigables con el ambiente (FAO 2010).

4.3 Sistemas cerrados de recirculación de agua

Recirculating Aquaculture Systems (RAS, por sus siglas en inglés) o Sistema Cerrado de Recirculación de Agua (SCRA) es una técnica en la cual se hace circular el agua en la que se cultivan los peces a través de una serie de filtros, con el fin de remover residuos sólidos y convertir el amonio tóxico en una molécula menos nociva para los peces. En este sistema de cultivo el oxígeno es añadido para mantener suficiente nivel de oxígeno disuelto, además se ejerce un seguimiento de los parámetros físico - químicos del agua de manera frecuente (Timmons *et al.* 2002; Ebeling *et al.* 1993. En Yousef *et al.* 2003).

Un SCRA proporciona la posibilidad de optimizar el control de las condiciones ambientales ya que los tanques donde se encuentran los peces no están al “aire libre” (Timmons *et al.* 2002). De esta manera también se disminuye el riesgo de contaminación del agua con partículas u organismos patógenos suspendidos en el aire que pueden alterar su calidad y causar enfermedades en los peces (Timmons *et al.* 2002). Por otra parte los SCRA requieren menos del 10% de agua que un sistema extensivo en estanques; ocupa mucho menos espacio (Masser 1999; Timmons *et al.* 2002), presenta un bajo impacto ambiental y reutiliza hasta el 85 % del agua que fluye por el sistema (Stickney 1993. En King *et al.* 2001; Timmons *et al.* 2002).

En la tabla 4 se presenta una comparación entre tres diferentes sistemas acuícolas en relación con el uso de agua por kilogramo de pez producido. La intensidad de la producción a través del SCRA es muy superior en comparación con los otros sistemas; la cantidad de agua utilizada es menor y la relación entre el espacio utilizado y el agua es de uno a uno, indicando un evidente ahorro en la producción. Adicionalmente, al utilizarse poco espacio y al presentarse un bajo impacto ambiental, los sistemas pueden ser construidos cerca a centros de comercialización del producto, siendo esta una ventaja más sobre los otros sistemas (Tetzlaff *et al.* 1990; Timmons *et al.* 2002)

Tabla 4. Agua usada por kilogramo de producción de los productos de acuicultura

Especie	Sistema de cultivo	Intensidad de producción (Kg/ha/año)	Cantidad de agua requerida (L/Kg)	Comparación del uso de agua y área en relación a lo utilizado en un SCRA	
				Area de tierra	Agua
<i>O. niloticus</i> (Tilapia del nilo)	Estanque	17400	21000	77	210
<i>I. Punctatus</i> (Pez gato)	Estanque	3000	3000 – 5000	448	400
<i>O. mykiss</i> (Truca arcoíris)	Raceway	150000	210000	9	2100
Panaeid shrimp (Taiwan)	Estanque	4200 – 11000	11000 – 21340	177	160
<i>O. niloticus</i> (Tilapia del nilo)	SCRA	1340000	100	1	1

(Tomado de Phillips *et al.* 1991. En Timmons *et al.* 2002. Traducción propia).

4.3.1 Componentes de un SCRA

- Tanque para peces

La forma y la capacidad de los tanques varían de acuerdo a la dimensión del cultivo (Hutchinson *et al.* 2004). Las formas más comunes son redondas, cuadradas o rectangulares con las esquinas redondeadas, y el color del tanque debe ser negro u oscuro para minimizar el estrés de los peces (Tetzlaff & Heidinger 1990; Hutchinson *et al.* 2004). Por lo general son de plástico o de fibra de vidrio (Hutchinson *et al.* 2004) y deben ser lisos y duros, lo más durable posible para prevenir daños a los peces (Tetzlaff & Heidinger 1990; Hutchinson *et al.* 2004).

- Fuente de aireación o generador de oxígeno

Debido a que la densidad de peces es usualmente alta en los SCRA, es necesario añadir oxígeno ya sea por vía oxígeno líquido o por medio de generadores o bombas. Además estas últimas (bombas de aireación) pueden servir no solo para proveer oxígeno, sino que también promueven la circulación del agua (Masser *et al.* 1999). Es probable que los niveles de oxígeno bajen debido a la alta densidad de peces y a la descomposición de materia orgánica como las heces y la comida sin ingerir (Losordo *et al.* 1998). Cuando el nivel de oxígeno disuelto es bajo es posible que se produzca un estrés en los individuos, se incremente la susceptibilidad a contraer enfermedades, haya una menor conversión de los alimentos, se disminuya el crecimiento, y en última instancia, causar la muerte de los peces (Masser *et al.* 1999).

- Bomba de agua

Los SCRA utilizan bombas para proporcionar el movimiento del agua a través del sistema, facilitando el transporte de oxígeno a los peces y a las bacterias del biofiltro y conduciendo los residuos sólidos y el amonio hacia los diferentes filtros (Hutchinson *et al.* 2004). La mayoría de las bombas utilizadas son de tipo sumergible, de manera que la bomba succiona el agua, se inunda y la evacua (Hutchinson *et al.* 2004) y su capacidad se calcula en L/hora. La selección de la capacidad y calidad de la bomba a utilizar depende de varios factores: es necesario que sean elaboradas para un funcionamiento continuo, no pueden estar construidas de materiales corrosivos ni oxidables, y la capacidad de bombeo se

escoge con base a la cantidad de agua que debe recircular en el SCRA (Hutchinson *et al.* 2004).

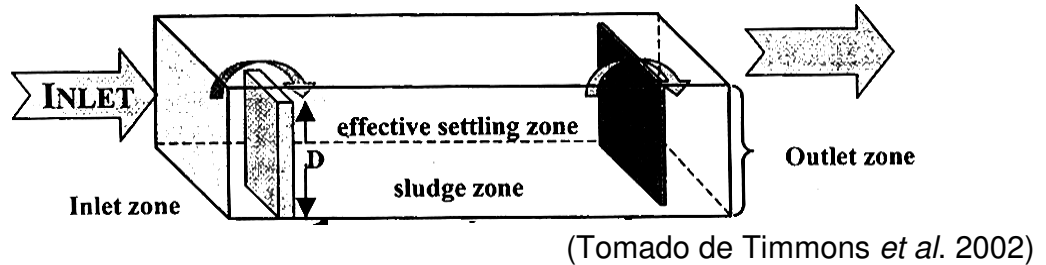
- Filtro mecánico

Estos filtros remueven los residuos sólidos producto de las heces y comida no ingerida por los peces (Tetzlaff & Heidinger 1990; Twarowska *et al.* 1997). En Liao *et al.* (1974) se estimaron que estos residuos pueden contener el 70% del nitrógeno en el sistema; si este material entra al biofiltro puede causar una considerable disminución de los procesos de nitrificación (Liao *et al.* 1974. En Tetzlaff *et al.* 1990). Remover rápidamente estos residuos es importante puesto que puede significar una reducción en la producción de dióxido de carbono y amonio, producto de la descomposición bacteriana, evitar una demanda adicional de oxígeno por parte de estas bacterias (Twarowska *et al.* 1997; Hutchinson *et al.* 2004), aumentar la eficiencia del biofiltro y reducir el tamaño requerido del mismo (Masser *et al.* 1999). Adicionalmente, se previene que estos residuos obstruyan las tuberías y los equipos (Hutchinson *et al.* 2004). Existen diversos tipos de filtros mecánicos que pueden separar diferentes tamaños de residuos. Algunos tipos de filtros son: de barril, de pantalla, de espuma, de arena, entre otros (Hutchinson *et al.* 2004).

- Clarificador

Es un tipo de filtro que permite la sedimentación (separación por gravedad) de residuos sólidos (Timmons *et al.* 2002). Este filtro tiene 4 zonas distribuidas de acuerdo a su función (figura 2). La zona de entrada (inlet zone) permite el ingreso del flujo de agua y la distribuye de manera uniforme sobre una sección que interrumpe parcialmente su circulación para intensificar el flujo laminar; la zona de sedimentación (settling zone) en la cual los residuos sólidos se precipitan por gravedad, que a su vez son retenidos en la zona de acumulación (sludge zone). Finalmente, el agua clarificada fluye sobre una segunda sección que retiene los residuos y llega hasta la zona de salida (Outlet zone) (Timmons *et al.* 2002).

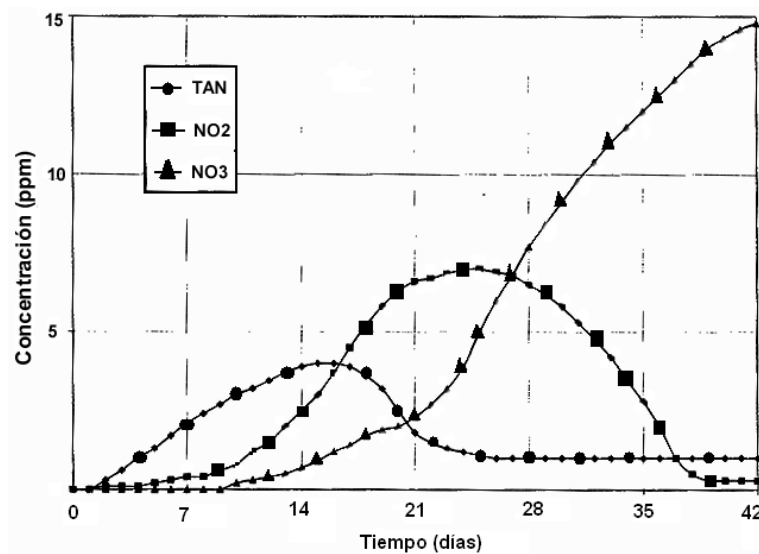
Figura 2. Representación de las 4 zonas de un clarificador



- Biofiltro

Es el encargado de remover el amonio producido por los peces del sistema de recirculación (Svobodová *et al.* 2005). Este provee un medio inerte y no tóxico con una gran superficie sobre la cual, se encuentran colonias de bacterias nitrificantes con la capacidad de oxidar el amonio hasta convertirlo en nitrato (Tetzlaff *et al.* 1990; King *et al.* 2001). Existen varios grupos de bacterias con esta capacidad oxidativa, por ejemplo, algunas bacterias del grupo de las Nitrosomonas oxidan el amonio hasta convertirlo en nitrito NO_2^- , y un segundo grupo de bacterias como las Nitrobacterias utilizan el nitrito como una fuente de energía y producen nitrato NO_3^- (grafica 1) (Tetzlaff *et al.* 1990; King *et al.* 2001)

Grafica 1. Curva típica del comportamiento de la concentración de amonio total (TAN), nitrito y nitrato en el establecimiento de las bacterias en el biofiltro



(Tomado de Timmons *et al.* 2002. Traducción propia)

4.3.2 Supervisión y control de los parámetros físico - químicos del agua

Es necesario supervisar la concentración de oxígeno, amonio, nitritos y nitratos, así como otros factores físico – químicos, los cuales también afectan el desarrollo de los peces y la eficiencia del biofiltro (Timmons *et al.* 2002).

- Temperatura

Este parámetro afecta todas las actividades bioquímicas y fisiológicas de los animales (Chatterjee *et al.* 2004). Es importante mantener el rango de temperatura óptimo para la especie porque en conjunto con otros factores, crean el ambiente propicio para que crezcan más rápido y realicen una mejor conversión del alimento en biomasa (Fine *et al.* 1996). Asimismo se reduce el tiempo para alcanzar la madurez (Chatterjee *et al.* 2004), los peces se estresan menos y la probabilidad de enfermarse es menor (Masser *et al.* 1999).

En estudios con carpa común se ha demostrado que la composición ideal de nutrientes en la dieta varía con los cambios estacionales y con las condiciones ambientales (Yamamoto *et al.* 2002). En el trabajo realizado por Yamamoto *et al.* (2002) se observó una disminución en la preferencia de una dieta rica en proteína cuando la temperatura disminuye (Yamamoto *et al.* 2002). La temperatura también puede afectar la eficiencia del biofiltro (Masser *et al.* 1999; Losordo *et al.* 1998). El control de la temperatura se lleva por medio de un termómetro y un sistema de calefacción (Masser *et al.* 1999).

- pH

El pH (concentración de iones H^+ en el agua) es un factor limitante en la eficiencia de las bacterias del biofiltro, siendo de 7 a 8 el rango óptimo (Losordo *et al.* 1998; Masser *et al.* 1999). Los peces por lo general pueden tolerar rangos de pH entre 6 y 9,6, pero cambios rápidos de 2 o más unidades pueden causar daños en su organismo (Masser *et al.* 1999). Entre las señales de un pH fuera del óptimo se encuentran el incremento de mucus en la superficie de las branquias del pez, las enfermedades en los ojos, el comportamiento de nado anormal, la degradación de las aletas y la muerte (PIR 1999). Por lo general, el pH en los SCRA tiende a bajar debido a la formación de ácido carbónico; éste se produce cuando el dióxido de carbono, generado por la respiración de los peces y las bacterias, reacciona con el agua (Masser *et al.* 1999).

Cuando el pH esta fuera del rango óptimo, puede causar estrés, susceptibilidad a contraer enfermedades y disminución del crecimiento (Losordo *et al.* 1998; Masser *et al.* 1999; Timmons *et al.* 2002). El pH puede ser supervisado a través de un potenciómetro, y controlado añadiendo un buffer como bicarbonato de sodio o carbonato de calcio y/o por medio de la aireación del agua para evitar la formación de CO₂ (Masser *et al.* 1999).

- Oxígeno

El oxígeno disuelto es quizás la variable más crítica en el manejo de la calidad del agua (Mongirdas *et al.* 2006), y depende de la temperatura, la densidad de peces, la alimentación y del sistema de aireación (PIR 1999). Se ha estimado que el umbral de concentración de oxígeno para asegurar la supervivencia y crecimiento de peces de aguas cálidas, es del 50% de saturación (o 4,13 mg/l a 25° C) (Masser *et al.* 1999; Mongirdas *et al.* 2006). La actividad de las bacterias dentro del biofiltro también se ve afectada por el nivel de oxígeno disuelto dentro de la columna de agua y, normalmente, éste es ineficaz cuando los niveles de oxígeno están por debajo de 2 mg/l (Masser *et al.* 1999; Mongirdas *et al.* 2006).

- Amonio, nitrito y nitrato

Los peces producen grandes cantidades de amonio debido al metabolismo de la alta concentración de proteínas que a menudo son suministradas en el alimento (Hutchinson *et al.* 2004). En el agua, el amonio se encuentra en dos formas: una no-ionizada denominada amoniaco (NH₃) que es altamente tóxica para los peces (Hutchinson *et al.* 2004; Kroupova *et al.* 2005), y una ionizada llamada amonio (NH₄⁺) que es menos tóxica (Hutchinson *et al.* 2004). Las técnicas utilizadas para medir la concentración de estas moléculas con frecuencia lo hacen sumando las dos formas (ionizada y no-ionizada), llamándola amonio total (TAN) (Losordo *et al.* 1998; Hargreaves *et al.* 2004). La concentración de estas dos formas de amonio en una columna de agua está determinada por el pH y la temperatura (Tetzlaff *et al.* 1990; Anthonisen *et al.* 1976. En Timmons *et al.* 2002) de manera que, cuando aumenta el pH y la temperatura, la forma tóxica del amonio tiende a incrementar su concentración (Tetzlaff *et al.* 1990; Hutchinson *et al.* 2004). Cuando el TAN alcanza niveles tóxicos, los peces no pueden extraer de manera eficiente la energía del alimento, y se observa una disminución en el crecimiento y en la capacidad de resistencia a contraer enfermedades (Hargreaves *et al.* 2004).

Para calcular la concentración de amoníaco (NH_3) se puede utilizar las siguientes ecuaciones: $pK_a = 0.0901821 \cdot 2729.92 / T$ y $f = 1/[10^{(pK_a - \text{pH})} + 1]$, donde pK_a es la constante de disociación, T es la temperatura en grados Kelvin ($^\circ\text{K}$) ($T \text{ en K} = (T \text{ en } ^\circ\text{C}) + 273.15$), y f es la fracción no ionizada del amonio total (Emerson *et al.* 1975. En Canadian Council of Ministers of the Environment. 2010). Haciendo uso de estas ecuaciones y remplazando los valores de temperatura y pH de una muestra de agua, se calcula una cifra; ésta debe ser multiplicada por el TAN y dará como resultado la proporción de amoníaco en mg/l (Emerson *et al.* 1975. En Canadian Council of Ministers of the Environment. 2010).

El nitrito y nitrato como ya se mencionó anteriormente, son producto de la oxidación del amonio por parte de las bacterias del biofiltro. El nitrito es menos tóxico para los peces que el amonio y su concentración no debe superar los 0,1 mg/L (Piper *et al.* 1982; Meade 1985; Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007). A su vez, el nitrato es menos tóxico para los peces que el nitrito, su concentración no debe superar los 400 mg/L (Piper *et al.* 1982; Meade 1985; Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007) y su acumulación en el sistema es controlada a menudo con el recambio de agua (Hutchinson *et al.* 2004).

- Alcalinidad y Dureza

La alcalinidad es una medida de la cantidad de bases presentes en el agua, las principales bases son el bicarbonato y el carbonato (Losordo *et al.* 1998). La dureza se refiere a la concentración total de iones metales divalentes principalmente de calcio y magnesio también expresados como equivalentes de CaCO_3 (Losordo *et al.* 1998; Hutchinson *et al.* 2004). Las bases como el bicarbonato y el carbonato son necesarias para dar al agua la capacidad de resistir el cambio de pH (capacidad buffer del agua) (Losordo *et al.* 1998). La nitrificación es un proceso que acidifica el agua, el amonio es transformado hasta nitrato y en este proceso se liberan iones hidrógeno. Estos iones al combinarse con bases como hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos consumen la alcalinidad y si esta no es suficiente el pH disminuye (Losordo *et al.* 1998). El calcio y el magnesio son esenciales en procesos biológicos de los peces como la formación de los huesos y algunas reacciones metabólicas y los peces pueden absorber directamente estos iones del agua o del alimento (Wurts & Durborow 1992). El calcio es la sal más importante en los cultivos acuícolas, la presencia de calcio en el agua ayuda a reducir la pérdida de otras sales como sodio y potasio del fluido corporal de los peces, siendo estas las sales más importantes en la sangre del

pez y su presencia es un factor decisivo en las funciones musculares, nerviosas y cardiacas (Wurts & Durborow 1992).

Es muy importante mantener los niveles de dureza y alcalinidad por encima de 50 mg/l, porque, además de dar capacidad buffer al agua, evitar la pérdida de sales por osmosis y cumplir un papel fundamental en el desarrollo de los peces, las bacterias por cada gramo de amonio oxidado consumen 4,57 g de oxígeno y 7,14 mg de alcalinidad como CaCO_3 en el proceso de nitrificación. (PIR 1999; Losordo *et al.* 1998; Environmental Protection Agency 2002; Hutchinson *et al.* 2004).

4.3.3 Alimentación y Enfermedades

- Alimentación

La calidad y cantidad de alimento es uno de los factores que ha mostrado un efecto directo sobre el crecimiento de los peces (Fine *et al.* 1996). Una alimentación insuficiente y una dieta baja en proteína inhiben el crecimiento (Fine *et al.* 1996). Los requerimientos proteicos y lipídicos de los peces dependen del contenido de energía digerible en la dieta; así para la carpa común, el rango óptimo de energía digerible en relación al nivel de proteína bruta para el máximo crecimiento es de 97 – 116 (Yilmaz *et al.* 2005).

El cálculo de la alimentación esta generalmente basado en la talla de los peces; los peces pequeños, comparados con los grandes, consumen un alto porcentaje de su peso corporal al día, de igual manera crecen más rápido y se alimentan varias veces al día (Masser *et al.* 1999). El momento de la alimentación es la mejor oportunidad para observar la vitalidad de los peces. Si hay una respuesta pobre frente a la alimentación puede ser un indicador de que algo anda mal (Masser *et al.* 1999). Los peces deben ser alimentados una o varias veces al día; una múltiple alimentación al día esparciendo la comida, disminuye la carga de residuos sobre el biofiltro y previene la disminución repentina de oxígeno (Masser *et al.* 1999).

- Enfermedades

El estrés en lo peces producido por cambios en los parámetros de calidad de agua fuera del rango de tolerancia, puede incrementar la susceptibilidad a contraer enfermedades (Masser *et al.* 1999).

Estas pueden ser causadas por organismos tales como virus, bacterias, hongos, protozoos, crustáceos y diferentes tipos de gusanos. Las enfermedades más comunes en los SCRA son aquellas producidas por bacterias (*Aeromonas*, *Streptococcus* y *Mycobacterium*) y protozoos (*Ichthyophthirius* y *Trichodina*) (Masser *et al.* 1999). Algunas señales de la presencia de estrés y enfermedades incluyen: permanecer boqueando en la superficie, excitabilidad, nado errático, piel y aletas descoloridas, heridas o llagas y disminución del apetito (Masser *et al.* 1999).

Es común que las enfermedades sean tratadas con químicos para peces, pero en los SCRA estos tratamientos pueden afectar de forma negativa el biofiltro; como por ejemplo, determinadas concentraciones de formalina, sulfato de cobre, permanganato de potasio y algunos antibióticos pueden inhibir a las bacterias nitrificantes (Masser *et al.* 1999). Una posible solución consiste en desconectar el biofiltro del sistema, tratar a los peces y volverlo a conectar; sin embargo existe la probabilidad de que al volverlo a conectar la enfermedad se vuelva a presentar (Masser *et al.* 1999).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de acuicultura de la Facultad de Ciencias, Programa Biología Aplicada, Universidad Militar Nueva Granada, hacienda Río Grande, 2558 msnm, temperatura promedio 14° C, municipio Cajicá. Esta investigación inició en el mes de junio de 2009 y finalizó en el mes de agosto de 2010.

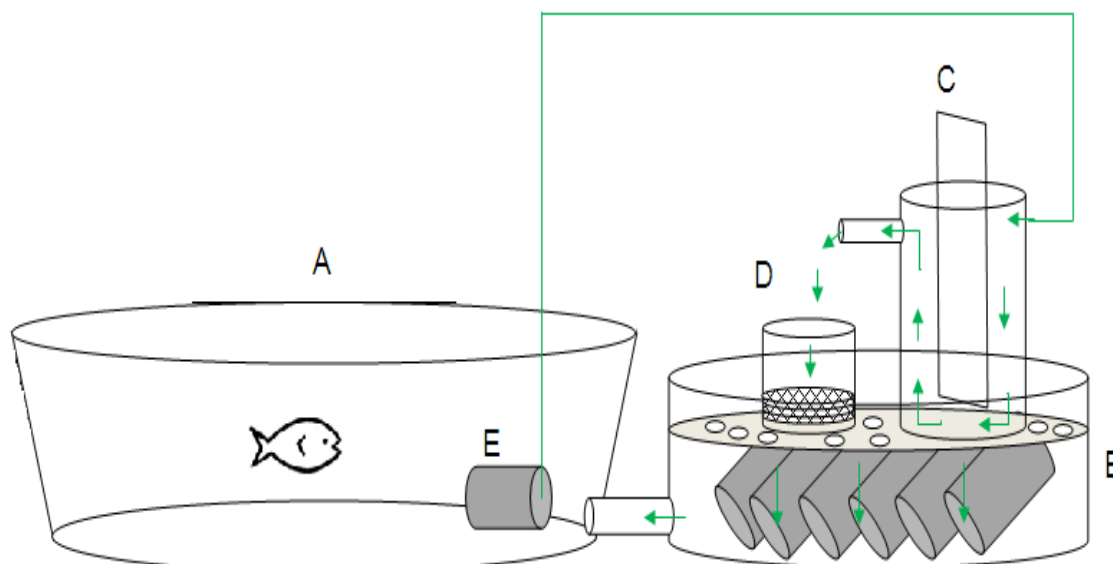
5.1 Diseño de SCRA

Se diseñó un prototipo de SCRA, con base en este se construyeron 5 sistemas, cada SCRA estaba constituido por:

- Un tanque plástico de 250 L para el alojamiento de los peces (figura 3 A). Dentro del tanque se colocó, un aireador de 6 L/min para proporcionar oxígeno a los peces, dos termostatos para regular la temperatura y una bomba de agua de 1500 L/h (figura 3 E) conectada a una manguera de 1" de diámetro, que conducía el agua al clarificador.

- El clarificador (figura 3 C), un tanque plástico de 15L acompañado en su interior de una lámina de icopor de 1,5 cm de ancho que trabaja como barrera física para disminuir la velocidad del flujo de agua, permitiendo precipitar los residuos sólidos en suspensión; luego el agua circula hasta el filtro mecánico por gravedad.
- El filtro mecánico (figura 3 D) fue construido con un tanque plástico de 3 L, dentro de él se encontraban 6 discos de malla de angeo con un ojo de 1 mm de diámetro, los cuales se cortaron de acuerdo al diámetro del tanque, estos permitieron filtrar el agua reteniendo los residuos sólidos. El agua filtrada por el filtro mecánico circula al biofiltro por gravedad.
- Cada biofiltro (figura 3 B) estaba constituido por un tanque plástico de 60 L, dentro del cual se encontraban 6 paquetes de angeo de 50 cm x 25 cm con bolas de icopor (0,3 a 0,6 cm de diámetro) en su interior. Las bolas de icopor fueron utilizadas como superficie para el establecimiento de las bacterias nitrificadoras del biofiltro. Cada paquete contenía alrededor de 19.000 bolas, para un total aproximado de 114.400 bolas por biofiltro; como cada bola de icopor tenía alrededor de 0,5 cm de diámetro, en un biofiltro había un área de 89.244 cm² para la colonización de las bacterias, sin contar con las paredes del tanque y del biofiltro. Al biofiltro también se instaló un aireador de igual capacidad para proporcionar oxígeno a las bacterias. Cada tanque, en la parte superior poseía una lámina plástica con agujeros de 3 cm de diámetro, esta lámina se encargaba de retener los paquetes de icopor bajo el agua y permitía la entrada del agua que provenía del filtro mecánico al biofiltro.
- Por último, una tubería con una válvula de apertura rápida conecta a cada biofiltro con el tanque de los peces. En la figura 3 se presenta el diseño del SCRA.

Figura 3. Prototipo de SCRA. Donde A: tanque de peces, B: biofiltro, C: clarificador, D: filtro mecánico, E: bomba de agua. Las flechas verdes indican la dirección del agua a través del sistema



(Carrascal 2011)

5.2 Diseño experimental

Se hicieron dos montajes M1 y M2, cada uno con 5 repeticiones y con una duración de 12 semanas (84 días) de cultivo. Cada montaje consistía de 5 SCRA iguales (Tanque 1 a Tanque 5) en los cuales se cultivaron 500 alevinos de *Cyprinus carpio*, 100 alevinos por sistema, con un peso inicial de $1,37 \pm 0,27$ g/ind. Para cada montaje se compraron 600 alevinos adquiridos en la empresa Ictiofauna; los 100 alevinos sobrantes eran utilizados para remplazar los individuos que morían.

Los peces fueron tratados según los principios bioéticos establecidos para la investigación con animales. Los alevinos fueron aclimatados durante una hora, luego se mantuvieron en cuarentena 24 días dentro de un SCRA. Antes de pasar los peces a cada SCRA, los 5 sistemas fueron inoculados con bacterias provenientes del agua de otros SCRA maduros, además se colocaron 6 goldfish

adultos por SCRA para acelerar la maduración y mantener las bacterias inoculadas (Tetzlaff *et al.* 1990; King *et al.* 2001). El primer montaje (M1) comenzó 17 de diciembre del 2009 y el segundo montaje (M2) comenzó 8 de junio del 2010.

En el M2 se realizó un cambio en la metodología. A partir de los resultados obtenidos M1 en relación a los parámetros físico- químicos, el pH y alcalinidad fue medido y corregido con mayor periodicidad.

5.3 Parámetros físico-químicos

Para M1 semanalmente se tomo un registro de los parámetros físico – químicos amonio total, nitrito, nitrato, oxígeno, temperatura, alcalinidad, dureza y pH. En M2 también se tomo un registro semanal de los parámetros de calidad de agua excepto el pH y la alcalinidad que fueron medidos tres veces por semana con el fin de mejorar el proceso de maduración del biofiltro ya que estos dos parámetros son factores limitantes para el proceso de nitrificación bacteriana. La concentración de amonio total, nitrito, nitrato, alcalinidad, dureza total y oxígeno disuelto se midieron utilizando un test TETRA®. Para medir el pH se utilizó un potenciómetro (SCHOT®) y para la temperatura se utilizó un termómetro fijo de máximos y mínimos.

5.4 Variables de crecimiento

Durante el tiempo de experimentación, cada 12 días se realizaron muestreos de 30 individuos escogidos al azar de cada uno de los SCRA tanto para M1 como para M2. A estos se les tomaron medidas de peso, por medio de una balanza analítica (OHAUSE® $\pm 0,0001$ g), longitud total (LT) y longitud estándar (LS), con ayuda de un ictiómetro (Mesa *et al.* 2005)

5.5 Parámetros productivos

A partir de las medidas de crecimiento en los peces se calcularán los siguientes índices.

Factor productivo	Formula
Incremento de peso (Pineda 1999; Salazar <i>et al.</i> 2002)	$IP = (\text{peso final} - \text{inicial})$
Ganancia de Peso (Mercado <i>et al.</i> 2006).	$GP = ((\text{peso final} - \text{peso inicial})/\text{peso inicial}) * 100$
Tasa de Crecimiento Absoluto (Pineda 1999; Salazar <i>et al.</i> 2002).	$TCA = (\text{peso final} - \text{peso inicial})/(\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial})$
Factor de Condición K (Mercado <i>et al.</i> 2006).	$K = (\text{peso final} / \text{longitud estándar final}^3) * 100$
Factor de Conversión Alimenticia (Salazar <i>et al.</i> 2002).	$FCA = \text{total alimento consumido} / (\text{biomasa final} - \text{biomasa inicial})$
Tasa de Eficiencia Alimenticia (Mercado <i>et al.</i> 2006).	$TEA = (\text{biomasa final} - \text{biomasa inicial}) / \text{total alimento consumido}$
Tasa de Eficiencia Proteica (Pineda 1999)	$TEP = (\text{biomasa final} - \text{biomasa inicial}) / \text{proteína consumida}$
Supervivencia (Salazar <i>et al.</i> 2002; Mercado <i>et al.</i> 2006)	$S = (\text{número de peces inicial} / \text{número de peces final}) * 100$

5.6 Alimentación

Los peces se alimentaron 4 veces al día (8:00 h, 12:00 h, 15:00 h y 17:00 h) con Truchina[®] al 45% de proteína bruta. La cantidad de alimento suministrado a los peces era equivalente al 10% del peso total promedio de los peces muestreados de cada sistema hasta que alcanzaron un peso promedio de 3 g, luego se alimentaron al 5% con la misma frecuencia (Vásquez 2004). La cantidad de alimento y el porcentaje de alimentación se ajustaron con base a los datos de crecimiento tomados cada semana de muestreo.

5.7 Mantenimiento de los SCRA

Semanalmente se les realizaba mantenimiento y retiro de sólidos a los filtros mecánicos, clarificadores, biofiltros, bombas y tubería. Diariamente se hicieron observaciones de presencia o ausencia de síntomas de enfermedades y de los cambios en el comportamiento de alimentación y nado. Además, cada que era necesario, se aplicaba de 5g a 10g de bicarbonato de sodio NaHCO_3 para mantener el pH y la alcalinidad en el rango óptimo para la especie y para el correcto funcionamiento de las bacterias del biofiltro; También semanalmente se hacía una reposición del agua perdida por evaporación.

5.8 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa R de libre distribución en internet (www.r-project.com). Se utilizó un diseño completamente aleatorio, expresando los resultados obtenidos como promedio (\pm desviación estándar). A los datos puros se les hizo una prueba de Shapiro – Wilk para ver tenían una distribución normal, luego se aplicó la técnica del análisis de varianza ANOVA al 95% de confiabilidad para determinar si habían diferencias significativas en los resultados de las variables de crecimiento entre los tanques 1 – 5 de cada montaje. En el caso de encontrar diferencias se aplicó el test de comparaciones múltiples de Tukey-Kramer también al 95% con el fin de conocer entre que tanques estaba la diferencia. Adicionalmente se realizó una prueba T para determinar si había diferencia entre M1 y M2. Se realizaron curvas de crecimiento de las carpas, utilizando como parámetros la longitud estándar, longitud total, y el peso corporal; además se realizaron ajustes a diferentes modelos de crecimiento exponencial, lineal y potencial para definir cual describía mejor el comportamiento de las variables de crecimiento en estos sistemas (Zar 1999). Para los modelos exponencial y lineal se comparó las tres diferentes variables de crecimiento contra el tiempo; y para el modelo potencial se comparó la longitud total contra el peso.

6. RESULTADOS

6. 1 Diseño de los SCRA

Imagen 1. Diseño de SCRA construido. Donde A: tanque de peces, B: biofiltro, C: clarificador, D: filtro mecánico



(Carrascal 2011)

Imagen 2. Detalles del diseño de SCRA construido. Donde A: Biofiltro, B: filtro mecánico, C: clarificador y D: paquetes del biofiltro



(Carrascal 2011)

6.2 Análisis físico – químico del agua

En las tablas 5 y 6, se observan los parámetros físico – químicos del agua medidos en los SCRA de M1, y en las tablas 7, 8 y 9 los parámetros físico – químicos medidos en M2. Los resultados del análisis de la calidad de agua de M1 y M2 mostraron condiciones adecuadas para el crecimiento de *C. carpio*, sin embargo en algunos muestreos de M1 se observaron valores fuera del rango de tolerancia para la especie (Billard 1999; Piper et al. 1982, Meade 1985, Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007; Nelson 2008).

Tabla 5. Parámetros químicos de la calidad de agua de M1 en el levante de *C. carpio* en SCRA. Concentración de TAN ($\text{NH}_3\text{--NH}_4^+$), Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-) en mg/l. Los espacios en blanco indican que no se tomó el dato

Semana	Tanque 1			Tanque 2			Tanque 3			Tanque 4			Tanque 5		
	TAN	NO_2^-	NO_3^-	TAN	NO_2^-	NO_3^-	TAN	NO_2^-	NO_3^-	TAN	NO_2^-	NO_3^-	TAN	NO_2^-	NO_3^-
0	0,5	-	-	0	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-
1	1,3	-	-	1	-	-	3	-	-	3	-	-	3	-	-
2	1,5	0,3	60	5	0,3	50	1,5	0,3	25	3	0,3	60	5	1,6	60
3	0,1	0,8	50	1,5	0,3	30	0,2	0,3	25	1,5	0,8	25	1,5	0,3	25
4	5	<0,3	50	5	<0,3	50	3	<0,3	25	0,25	0,3	25	5	0,3	50
5	0,25	<0,3	25	1,5	0,3	30	0	<0,3	12,5	1,5	0,3	25	3	0,3	30
6	0	<0,3	50	0	0,3	50	0	<0,3	25	3	<0,3	50	1,5	0,3	50
7	1	<0,3	80	0	<0,3	40	0	<0,3	40	0	<0,3	80	0,5	0,3	80
8	1,5	<0,3	100	0	<0,3	80	0	<0,3	60	0	<0,3	60	0	<0,3	100
9	3	<0,3	80	0	<0,3	50	0,25	<0,3	50	0	<0,3	40	1,5	<0,3	80
10	1	<0,3	100	0	<0,3	80	0	-	90	0	0,3	80	0	0,5	40
11	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	40
12	4	-	-	0	-	-	2	-	-	1	-	-	0	-	-

Tabla 6. Parámetros físico – químicos del agua de M1 en el levante de *C. carpio* en SCRA. Concentración de oxígeno (O₂), alcalinidad (KH), dureza (GH) en mg/l, y temperatura (T) en grados Celsius. Los espacios en blanco indican que no se tomo el dato

Semana	Tanque 1					Tanque 2					Tanque 3					Tanque 4					Tanque 5				
	pH	T	O ₂	GH	KH	pH	T	O ₂	GH	KH	pH	T	O ₂	GH	KH	pH	T	O ₂	GH	KH	pH	T	O ₂	GH	KH
0	5,6	23	-	51,3	17,1	5,6	23	-	51,3	17,1	5,2	22	-	51,3	17,1	5,1	22	-	51,3	17,1	5,1	(21-26)	-	51,3	17,1
1	5,6	22	-	51,3	17,1	6	23	-	85,5	17,1	5,7	22	-	51,3	17,1	5,7	22	-	51,3	17,1	5,6	(20-26)	-	51,3	17,1
2	4,6	22	5	51,3	17,1	5,6	22	5	51,3	17,1	5,8	22	5	51,3	17,1	5	22	5	51,3	17,1	5,3	(19-26)	5	51,3	17,1
3	-	-	5	51,3	17,1	-	-	5	51,3	17,1	-	-	5	51,3	17,1	-	-	5	51,3	17,1	-	-	5	51,3	17,1
4	5,5	21	5	51,3	17,1	4,7	22	5	51,3	17,1	4,6	22	5	51,3	17,1	5,2	22	5	51,3	17,1	5	(20-26)	5	51,3	17,1
5	4,6	22	5	68,4	17,1	5,4	21	5	85,5	17,1	5,2	22	5	51,3	17,1	5,6	22	5	68,4	17,1	5,6	(18-25)	5	85,5	17,1
6	6,3	23	5	85,5	17,1	6,7	23	4	85,5	34,2	6,8	22	4	51,3	34,2	5,6	24	4	68,4	17,1	5,6	(19-26)	5	68,4	17,1
7	6,2	23	4	85,5	34,2	5,3	22	4	68,4	34,2	6,7	22	4	51,3	34,2	5,5	22	4	85,5	34,2	5,5	(19-25)	4	85,5	34,2
8	5	22	4	102,6	34,2	6,6	22	-	51,3	34,2	6,5	22	-	51,3	34,2	6,8	22	-	51,3	51,3	6,2	(20-26)	-	102,6	51,3
9	4,2	22	-	136,8	17,1	6,5	22	-	85,5	34,2	5,3	22	-	85,5	34,2	5,8	22	-	51,3	34,2	5,9	(19-26)	-	119,7	34,2
10	3,9	23	-	153,9	34,2	6,8	23	-	68,4	51,3	6,1	23	-	85,5	34,2	5,6	23	-	85,5	34,2	6,4	(20-25)	-	85,5	34,2
11	6	22	-	170,1	17,1	6,3	22	-	102,6	34,1	6	22	-	102,6	34,2	6,3	22	-	102,6	34,2	6,3	(19-25)	-	102,6	34,2
12	4,2	24	-	153,9	68,4	5,4	25	-	119,7	68,4	4,4	25	-	136,8	-	5,2	25	-	136,8	68,4	6,4	(20-27)	-	119,7	68,4

Tabla 7. Parámetros químicos de la calidad de agua de M2 en el levante de *C. carpio* en SCRA. Concentración de TAN ($\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$), Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-) en mg/l. Los espacios en blanco indican que no se tomo el dato

Semana	Tanque 1			Tanque 2			Tanque 3			Tanque 4			Tanque 5		
	TAN	NO_2^-	NO_3^-	TAN	NO_2^-	NO_3^-	TAN	NO_2^-	NO_3^-	TAN	NO_2^-	NO_3^-	TAN	NO_2^-	NO_3^-
0	0	0,3	-	0	<0,3	-	0	<0,3	-	0	<0,3	-	0	<0,3	-
1	0,1	0,3	-	0,1	0	-	0	0,3	-	0	0	-	0	0	-
2	0	0,3	-	0	<0,3	-	0	<0,3	-	0	<0,3	-	0	0,3	-
3	0	0,5	100	1,5	0,5	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100
4	0	<0,3	100	0	<0,3	110	0	<0,3	100	0	<0,3	100	0	<0,3	110
5	0	<0,3	100	0	<0,3	100	0	<0,3	100	0	<0,3	110	0	<0,3	110
6	0	<0,3	110	0	<0,3	110	0	<0,3	110	0	<0,3	110	0	<0,3	110
7	0	<0,3	100	0	<0,3	100	0	<0,3	100	0	<0,3	110	0	<0,3	110
8	0	<0,3	140	0	<0,3	140	0	<0,3	140	0	0,3	140	0	0,3	140
9	0	0,3	110	0	<0,3	110	0	<0,3	110	0	<0,3	110	0	<0,3	110
10	0	<0,3	160	0	<0,3	160	0	<0,3	160	0	<0,3	160	0	<0,3	160
11	0,5	0,3	140	1,5	0,8	140	0,5	0,5	140	0	0,3	140	1	0,5	140
12	1	0,3	100	0,5	0,3	160	0,5	<0,3	160	0,5	0,3	160	1	0,3	160

Tabla 8. Parámetros físico – químicos de la calidad de agua de M2 en el levante de *C. carpio* en SCRA. Concentración de oxígeno (O_2), dureza (GH) en mg/l, y temperatura (T) en grados Celsius

Semana	Tanque 1			Tanque 2			Tanque 3			Tanque 4			Tanque 5		
	T	O_2	GH	T	O_2	GH	T	O_2	GH	T	O_2	GH	T	O_2	GH
0	23	4	119,7	23	4	119,7	23	3	119,7	23	3	136,8	(20-26)	3	119,7
1	26	3	119,7	24	4	119,7	27	3	119,7	24	4	136,8	(20-25)	3	119,7
2	25	3	85,5	26	3	136,8	27	3	102,6	24	3	119,7	(19-24)	3	153,9
3	24	3	102,6	25	3	136,8	25	3	153,9	23	3	153,9	(19-26)	3	188,1
4	23	3,5	119,7	22	3,5	153,9	22	3,5	136,8	22	3,5	153,9	(19-27)	3,5	136,8
5	25	3,5	136,8	24	3,5	171	24	3,5	171	24	3,5	188,1	(23-26)	3	188,1
6	24	3,5	102,6	23	3,5	102,6	23	3	119,7	23	3,5	119,7	(22-25)	3,5	119,7
7	24	3,5	136,8	24	3,5	136,8	24	3	119,7	24	3,5	171	(21-24)	3,5	153,9
8	23	3,5	102,6	23	3,5	85,5	23	3,5	102,6	23	3,5	119,7	(22-26)	3,5	102,6
9	25	3	119,7	25	3	102,6	26	3,5	119,7	25	3	136,8	(18-26)	3,5	119,7
10	23	3,5	119,7	23	3,5	119,7	23	3,5	119,7	23	3,5	136,8	(17-25)	3,5	102,6
11	23	3,5	119,7	23	3,5	136,8	23	3,5	102,6	23	3,5	136,8	(22-25)	3,5	136,8
12	22	3,5	68,4	22	3,5	102,6	22	3,5	119,7	22	3,5	136,8	(22-25)	3,5	102,6

Tabla 9. Parámetros químicos de la calidad de agua de M2 en el levante de *C. carpio* en SCRA. Alcalinidad (KH) en mg/l

Semana	Día	Tanque 1		Tanque 2		Tanque 3		Tanque 4		Tanque 5	
		pH	KH	pH	KH	pH	KH	pH	KH	pH	KH
0	Martes	6,9	17,1	6,9	17,1	6,9	17,1	5,9	17,1	7,2	17,1
	Miércoles	7,2	34,2	7,2	17,1	7,1	34,2	6,5	34,2	7,1	17,1
	Jueves	7,2	34,2	7,2	34,2	7,2	34,2	7,1	34,2	7,1	34,2
1	Martes	5,7	34,2	4,9	34,2	5,2	34,2	5,7	34,2	6,4	34,2
	Miércoles	6,4	34,2	5,9	34,2	6,2	34,2	6,6	34,2	7,1	34,2
	Jueves	7,0	34,2	6,8	34,2	6,9	34,2	7,3	34,2	7,1	34,2
2	Martes	6,2	34,2	4,9	34,2	5,1	34,2	6,0	34,2	5,0	34,2
	Miércoles	6,7	34,2	6,7	34,2	6,7	34,2	6,7	34,2	6,3	34,2
	Jueves	7,1	34,2	7,2	34,2	7,3	34,2	7,2	34,2	7,2	34,2
3	Martes	6,2	34,2	6,4	34,2	5,0	34,2	5,0	34,2	5,4	34,2
	Miércoles	6,8	34,2	6,0	34,2	6,3	34,2	6,3	34,2	6,0	34,2
	Jueves	7,2	34,2	6,8	34,2	7,1	34,2	7,0	34,2	6,9	34,2
4	Martes	5,0	34,2	5,0	34,2	5,0	34,2	5,0	34,2	5,0	34,2
	Miércoles	6,0	34,2	5,8	34,2	5,9	34,2	5,9	34,2	6,9	34,2
	Jueves	6,8	34,2	6,9	34,2	6,8	34,2	6,9	34,2	7,2	34,2
5	Martes	5,9	34,2	5,8	17,1	6,2	17,1	5,5	17,1	5,5	17,1
	Miércoles	6,6	34,2	6,6	34,2	6,6	34,2	6,3	17,1	6,1	17,1
	Jueves	7,3	34,2	6,9	34,2	6,8	34,2	6,4	34,2	6,4	34,2
6	Martes	7,3	34,2	7,3	51,3	7,0	34,2	6,3	17,1	6,0	17,1
	Miércoles	6,8	17,1	6,8	17,1	6,4	17,1	6,7	17,1	6,3	17,1
	Jueves	7,1	17,1	7,2	34,2	17,1	17,1	7,2	17,1	6,9	17,1
7	Martes	5,2	0,0	5,2	0,0	5,2	0,0	5,0	0,0	4,4	0,0
	Miércoles	6,5	34,2	6,5	17,1	6,4	17,1	6,3	17,1	6,0	17,1
	Jueves	7,1	34,2	7,1	34,2	7,0	34,2	7,0	34,2	7,0	17,1
8	Martes	5,5	17,1	5,9	17,1	6,3	17,1	5,0	17,1	4,5	17,1
	Miércoles	6,5	17,1	7,0	17,1	6,8	17,1	6,0	17,1	5,5	17,1
	Jueves	6,0	17,1	6,5	17,1	6,0	17,1	6,0	17,1	5,0	17,1
9	Martes	6,6	17,1	6,5	17,1	5,7	17,1	5,9	17,1	5,4	17,1
	Miércoles	7,0	17,1	6,2	34,2	6,0	17,1	6,5	17,1	6,0	17,1
	Jueves	7,0	17,1	7,1	34,2	6,9	17,1	7,0	17,1	6,7	17,1
10	Martes	6,0	17,1	7,0	17,1	6,0	17,1	6,5	17,1	5,8	17,1
	Miércoles	6,6	17,1	6,7	17,1	6,5	17,1	6,5	17,1	6,4	17,1
	Jueves	7,1	17,1	7,2	17,1	7,3	17,1	6,8	17,1	7,2	17,1
11	Martes	5,2	17,1	5,3	17,1	4,8	17,1	5,6	17,1	5,1	17,1
	Miércoles	6,0	17,1	6,4	17,1	6,0	17,1	6,4	17,1	6,0	17,1
	Jueves	6,0	34,2	7,1	17,1	6,9	17,1	6,9	17,1	6,8	17,1
12	Martes	6,0	34,3	5,5	17,1	5,5	17,1	5,5	17,1	5,5	17,1

6.3 Crecimiento

La prueba Shapiro – Wilk determinó que los datos de las variables evaluadas presentaban una distribución normal. En la tabla 10 se presentan los resultados del crecimiento de los peces de cada montaje. La prueba de ANOVA mostró que no hay diferencia significativa, de manera general, en el crecimiento de los peces de M1 y tampoco en los de M2. En la tabla 11 se resume el crecimiento de los peces de M1 y M2 mediante un promedio total de cada variable evaluada y se muestra el resultado de la prueba T.

Tabla 10. Promedio inicial y final de las variables de crecimiento de *C. carpio* en SCRA para cada uno de los tanques de M1 y M2. LE: longitud estándar, LT: longitud total, M: montaje. Valores con letras iguales no difieren significativamente ($P>0,05$)

M	Peso (g)		LE (cm)		LT (cm)		Biomasa (g)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	1,39 ± 0,29 a	5,44 ± 1,60 a	3,6 ± 0,3 a	5,5 ± 0,7 a	4,4 ± 0,4 a	7,1 ± 0,8 a	139,24	544,00
	1,43 ± 0,31 a	5,82 ± 1,06 ab	3,5 ± 0,3 a	5,6 ± 0,5 a	4,4 ± 0,3 a	7,0 ± 0,6 a	143,12	582,00
	1,47 ± 0,28 a	5,26 ± 1,13 a	3,4 ± 0,2 a	5,4 ± 0,4 a	4,3 ± 0,3 a	6,7 ± 0,6 a	146,71	526,00
	1,40 ± 0,27 a	7,36 ± 3,44 b	3,3 ± 0,3 a	6,1 ± 0,9 b	4,3 ± 0,3 a	7,4 ± 1,0 b	140,02	736,00
	1,32 ± 0,26 a	6,77 ± 2,80 ab	3,3 ± 0,2 a	5,7 ± 0,9 ab	4,3 ± 0,3 a	7,2 ± 1,2 ab	131,71	677,00
2	1,31 ± 0,26 a	9,85 ± 3,17 a	3,6 ± 0,3 a	6,6 ± 0,7 a	4,6 ± 0,3 a	8,3 ± 0,8 a	131,34	985,00
	1,29 ± 0,26 a	8,98 ± 2,63 a	3,6 ± 0,3 a	6,3 ± 0,7 a	4,6 ± 0,3 a	7,8 ± 0,8 a	129,38	898,00
	1,40 ± 0,27 a	11,34 ± 3,71 a	3,7 ± 0,3 a	6,8 ± 0,8 a	4,6 ± 0,3 a	8,4 ± 0,8 a	140,46	1143,00
	1,35 ± 0,27 a	9,80 ± 2,33 a	3,5 ± 0,3 a	6,6 ± 0,5 a	4,5 ± 0,4 a	8,1 ± 0,6 a	135,18	980,00
	1,34 ± 0,25 a	11,14 ± 5,10 a	3,5 ± 0,3 a	6,8 ± 0,8 a	4,5 ± 0,4 a	8,4 ± 1,0 a	134,27	1114,00

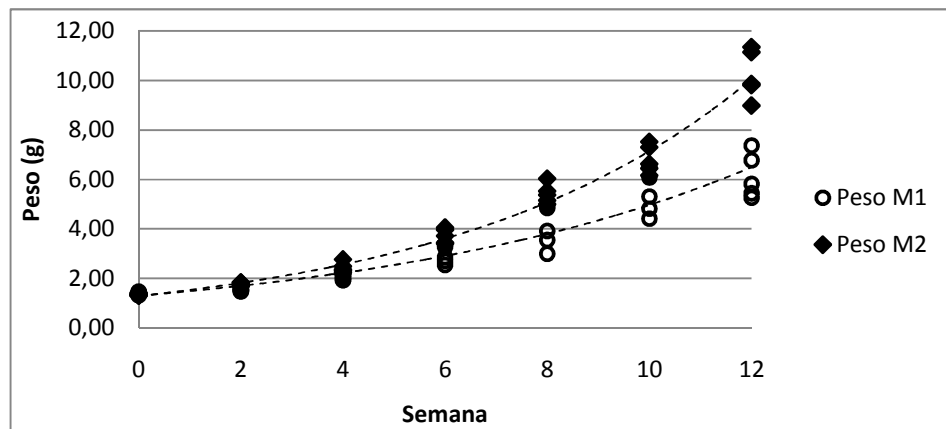
Tabla 11. Promedio total de las variables de crecimiento de M1 y M2, y resultados de la prueba de T. LE: longitud estándar, LT: longitud total, M: montaje. Valores con letras iguales no difieren significativamente ($P>0,05$)

M	Peso final (g)	LE final (cm)	LT final (cm)	Biomasa (g)
1	6,13 ± 2,00 a	5,7 ± 0,7 a	7,1 ± 0,8 a	613,00
2	10,22 ± 3,39 b	6,6 ± 0,7 b	8,2 ± 0,8 b	1024,00

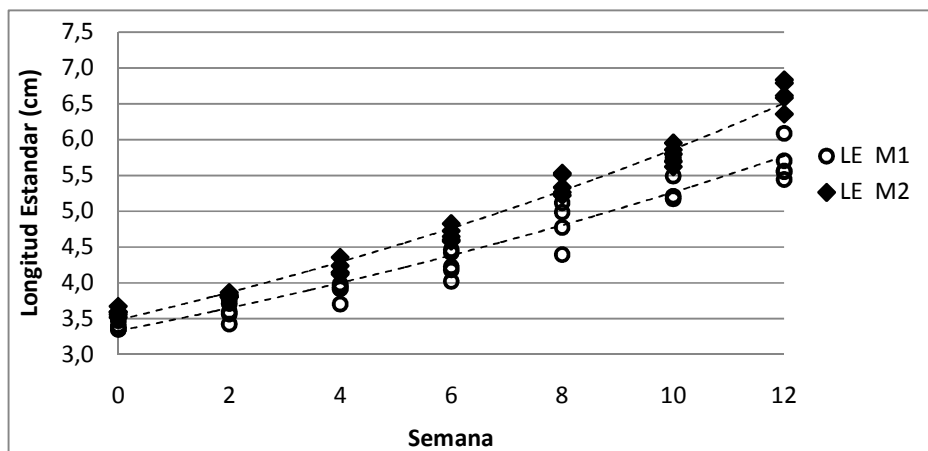
En las graficas 2, 3 y 4 se presentan las curvas de crecimiento de las 3 variables evaluadas en M1 y M2. En base a los resultados de crecimiento se evaluaron los tres modelos anteriormente mencionados y los resultados se presentan en la tabla 12.

El peso de los peces en M1 y M2 se ajusto de mejor manera al modelo exponencial, La longitud total y estándar ajusto de manera similar al modelo exponencial y lineal tanto en M1 como en M2.

Grafica 2. Crecimiento en peso de *C. carpio* en SCRA. El trazo punteado representa la línea de tendencia exponencial



Grafica 3. Crecimiento en longitud estándar de *C. carpio* en SCRA. El trazo punteado representa la línea de tendencia exponencial



Grafica 4. Crecimiento en longitud total de *C. carpio* en SCRA. El trazo punteado representa la línea de tendencia exponencial

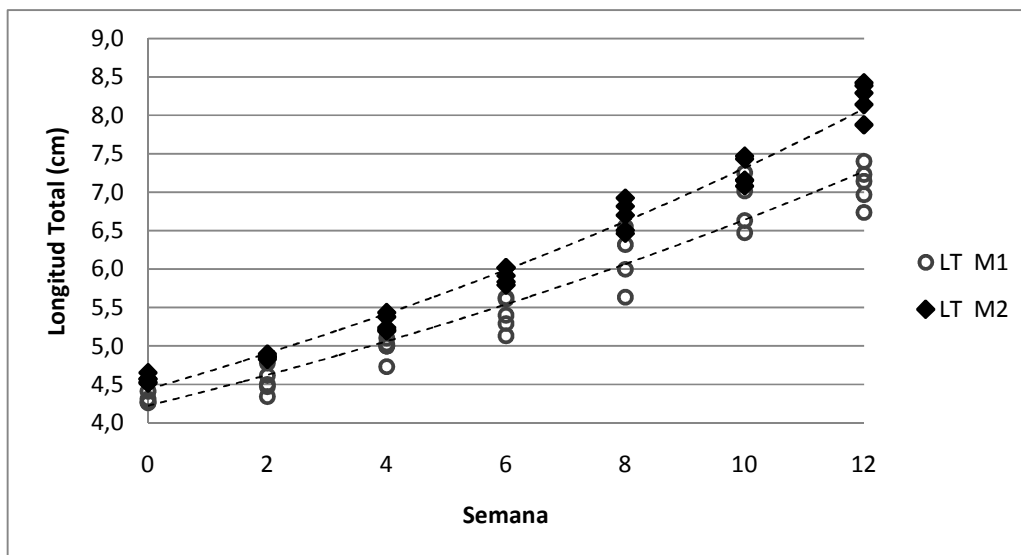


Tabla 12. Modelos de crecimiento evaluados en base a tres variables de crecimiento de *C. carpio* cultivados en SCRA. R²: coeficiente de determinación, LE: longitud estándar, LT: longitud total, M: montaje

M	Variable	M. Exponencial		M. Lineal		M. Potencial	
		R ²	Modelo	R ²	Modelo	R ²	Modelo
1	peso	0,94	$y = 1,3029e^{0,1339x}$	0,88	$y = 0,4259x + 0,8227$	0,99	$y = 0,0192x^{2,9325}$
	LT	0,94	$y = 4,221e^{0,0453x}$	0,93	$y = 0,2545x + 4,1099$		
	LE	0,94	$y = 3,3304e^{0,0458x}$	0,92	$y = 0,2043x + 3,237$	-	-
2	peso	0,99	$y = 1,2934e^{0,1709x}$	0,90	$y = 0,7088x + 0,2747$	0,99	$y = 0,0082x^{3,4013}$
	LT	0,98	$y = 4,4365e^{0,05x}$	0,97	$y = 0,3065x + 4,2737$		
	LE	0,98	$y = 3,4847e^{0,052x}$	0,96	$y = 0,2539x + 3,3451$	-	-

6.4 Parámetros productivos

Según los resultados la prueba T los peces de M2 obtuvieron parámetros productivos significativamente mejores que los obtenidos en M1 (ver tabla 13).

Tabla 13. Parámetros productivos del crecimiento de *C. carpio* en SCRA para cada uno de los tanques de M1 y M2, y resultados de la prueba T entre el promedio de los parámetros productivos de M1 Y M2. LE: longitud estándar, LT: longitud total, M: montaje. Valores con letras iguales no difieren significativamente ($P>0,05$)

Montaje	IP (g)	GP (%)	TCA (g/día)	K	FCA	TEA	TEP	Supervivencia (%)
1	4,05	291,37	0,05	3,18	2,93	0,34	8,99	94
	4,39	306,99	0,05	3,39	2,78	0,36	9,75	96
	3,79	257,82	0,05	3,27	2,93	0,34	8,43	86
	5,96	425,71	0,07	3,26	2,24	0,45	13,24	93
	5,45	412,88	0,06	3,66	2,44	0,41	12,12	95
Promedio	4,73 a	338,96 a	0,06 a	3,35 a	2,66 a	0,38 a	10,51 a	93 a
2	8,54	650,11	0,10	3,41	1,98	0,51	18,97	98
	7,68	593,98	0,09	3,50	2,13	0,47	17,08	90
	9,93	707,3	0,12	3,56	1,90	0,53	22,28	96
	8,45	625,01	0,10	3,44	2,02	0,49	18,77	95
	9,80	729,65	0,12	3,56	1,84	0,54	21,77	90
Promedio	8,88 b	661,21 b	0,11 b	3,50 a	1,97 b	0,51 b	19,77 b	94 a

7. DISCUSIÓN

Los SCRA contruidos en este trabajo tenían un flujo promedio de 240 L/h lo que permitía que los 300 L de agua que contenía cada sistema pasaran 19 veces al día a través de los diferentes filtros. La implementación del filtro mecánico, clarificador y paquetes de icopor para el biofiltro, facilitaron en gran manera la limpieza y mantenimiento de los sistemas; tomaba aproximadamente 2,30 horas limpiar los 5 SCRA mientras que, en diseños anteriores de SCRA utilizados en el laboratorio, era trabajo de todo un día.

En relación al crecimiento de los peces, los resultados obtenidos durante este trabajo indican que hubo diferencia significativa entre el crecimiento de los peces de M1 y M2 (ver tabla 11). En un periodo de 84 días, los peces del M1 alcanzaron un peso promedio de $6,13 \pm 2,00$ g con una longitud total de $7,1 \pm 0,8$ cm; y los peces del M2 alcanzaron un peso promedio de $10,22 \pm 3,39$ g con una longitud total de $8,2 \pm 0,8$ cm. Esta diferencia también es observada en el ajuste de las variables de crecimiento de M1 y M2 a los modelos evaluados y en la diferencia significativa obtenida al comparar los parámetros productivos de estos dos montajes.

Los resultados arrojados por la evaluación del modelo potencial indican que el crecimiento de *C. carpio* en SCRA a lo largo del estudio para M1 y M2 es de tipo isométrico, lo que revela que las variables evaluadas (peso y longitud) aumentan en igual proporción (Ricker 1971). En M1 y M2 el peso de los peces se ajustó de mejor manera al modelo exponencial, sin embargo el coeficiente de determinación R^2 indica que M2 ajusto mejor que M1 (tabla 12). La longitud total y estándar ajustó de manera similar al modelo exponencial y lineal, sin embargo hay una tendencia a ajustar mejor al modelo exponencial especialmente en M2 (tabla 12). Los modelos más utilizados en la explicación del crecimiento de peces en su ciclo de desarrollo son Gompertz, Logistic, Richards y Von Bertalanffy (Ramírez 1999), estos modelos no fueron evaluados debido a que, en esta investigación el tiempo de estudio para esta especie en SCRA, no permitió cubrir todas las variables requeridas para estos modelos, sin embargo teniendo en cuenta que la mayoría de organismos biológicos exhiben en sus primeras etapas de desarrollo un crecimiento exponencial (Ramírez 1999) y que el modelo exponencial esta intrínseco en los modelos de crecimiento más utilizados (modelos anteriormente mencionados), se aconseja tener en cuenta los resultados obtenidos en este modelo.

En los parámetros productivos los peces de M2 mostraron mayor ganancia en peso (GP) casi el doble de lo obtenido en M1, con base en esto la mayoría de los demás parámetros productivos de M2 fueron significativamente superiores a lo conseguido en M1 (tabla 13), esto indica que los peces de M2 asimilaban de mejor manera el alimento suministrado. La supervivencia para ambos montajes fue alta. El factor de condición K, indicador numérico de la condición de los peces (grado de bienestar, robustez), que permite determinar las condiciones en que se logran los mejores rendimientos (Nikolsky 1963. En Hernández *et al.* 2008) y la supervivencia no mostraron diferencias significativas. A pesar de la gran cantidad de estudios que se han hecho en *C. carpio*, no se encontró bibliografía con cual comparar los resultados de los parámetros productivos obtenidos en este trabajo.

Una posible explicación a la diferencia entre el crecimiento de los peces de M1 y M2 puede estar en los resultados obtenidos en los parámetros de calidad de agua. En las primeras semanas, las cinco repeticiones de M1, presentaron valores fuera del rango de tolerancia para el pH, TAN y nitrito (tabla 5 y 6). Los bajos niveles de pH, posiblemente causados por la formación de ácido carbónico (Masser *et al.* 1999), pueden causar estrés, susceptibilidad a contraer enfermedades y disminución de crecimiento (PIR 1999). Cuando existen altas concentraciones de nitrito éste puede entrar al torrente sanguíneo en cantidades tóxicas, oxidando el hierro en la molécula de hemoglobina de un estado ferroso a un estado férrico, resultando en un producto llamado metahemoglobina. Esta molécula posee poca afinidad con el oxígeno lo que resulta en una baja capacidad de transporte por todo el organismo (Jensen 2003, Kroupova *et al.* 2005).

El amoníaco (NH_3) es un gas altamente soluble (1000 veces más que el CO_2 y 27000 veces más que el O_2) y posee una alta capacidad de difusión en soluciones acuosas lo que le permite viajar fácilmente a través de las células por medio de canales acuosos (Walsh 1998. En Evans 1998). Gracias a esta capacidad de difusión, el amoníaco a bajas concentraciones puede atravesar las membranas, y al entrar en contacto con otras moléculas es posible que intervenga en reacciones bioquímicas. Adicionalmente éste puede combinarse con protones y elevar el pH intracelular y de la sangre a niveles incompatibles con funciones macromoleculares (Walsh 1998. En Evans 1998). El amonio (NH_4^+) (que es menos soluble que el amoníaco) como un ión cargado, se mueve básicamente dependiendo de gradientes de concentración. Esta molécula posee un radio de hidratación y densidad de carga muy similar a los cationes Na^+ y K^+ lo que hace que a altas concentraciones pueda interrumpir el normal movimiento transmembranal de estos y otros iones al sustituirlos (Walsh 1998. En Evans 1998).

Como se mencionó previamente, la proporción del amoniaco y amonio en una columna de agua depende del pH y la temperatura, de manera que cuando aumenta el pH y la temperatura, la forma tóxica del amonio tiende a incrementar su concentración (Tetzlaff & Heidinger 1990; Hutchinson *et al.* 2004).

A pesar de las altas concentraciones de amonio, los bajos niveles de pH permitieron que el amoniaco (NH_3) no sobrepasara los 0,008 mg/l en el peor de los casos, pero el TAN sí sobrepasó los niveles de tolerancia (Piper *et al.* 1982; Meade 1985; Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007).

Las concentraciones altas de amonio y nitrito posiblemente fueron producto de la falta de maduración del biofiltro. Esto se evidencia en el aumento de la concentración de nitrito y en las bajas concentraciones de nitrato durante las semanas anteriores a la semana 6 (tabla 5). Los continuos recambios de agua, necesarios para disminuir la concentración de amonio, hacían que se registrara las oscilaciones en la concentración del nitrito y evitaba la acumulación del nitrato. Después de la semana 6, el amonio y el nitrito se mantuvieron generalmente en concentraciones dentro del rango de tolerancia (Piper *et al.* 1982; Meade 1985; Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007) y el nitrato mostró una tendencia a aumentar su concentración (Tabla 5).

Según Timmons *et al.* (2002), el estado maduro de un biofiltro se observa a partir de la cuarta semana (grafica 1); sin embargo en este experimento tardó alrededor de 6 semanas (tabla 5). Es posible que esto haya sido consecuencia debido a varios factores: primero, al tomar el agua de otros SCRA maduros para iniciar los biofiltros de M1, el inóculo de bacterias nitrificantes pudo no ser suficiente. En el comercio existen productos que ofrecen colonias de bacterias nitrificantes, no obstante se prefirió utilizar inóculos de otros SCRA maduros para disminuir costos. En segundo lugar, la biomasa de peces utilizada para producir amonio con el fin de alimentar las bacterias del biofiltro, debió ser mayor. La producción de TAN en un SCRA está en función de la cantidad de alimento que se da a los peces (1 - 5% biomasa/día) y al contenido proteico de la misma (Losordo *et al.* 2000. En Hutchinson *et al.* 2004); y en tercer lugar, los bajos niveles de pH presentados en las primeras semanas pudieron ser un factor limitante en la eficiencia de las bacterias del biofiltro (Losordo *et al.* 1998; Masser *et al.* 1999).

Haciendo un seguimiento al pH y alcalinidad en M1, se observó que los niveles de pH y la concentración de carbonatos podían descender rápidamente en una semana (ver tabla 6). Con base a la experiencia adquirida con el montaje M1, se

hizo necesario un seguimiento con mayor periodicidad del pH y la alcalinidad en M2, con el fin de evitar que el pH estuviera fuera del rango de tolerancia de *C. carpio* y al mismo tiempo aumentar la capacidad buffer del agua y proporcionar carbonatos para los procesos de nitrificación bacteriana (Losordo *et al.* 1998; Hutchinson *et al.* 2004). En M2 el pH, el TAN, nitrito y nitrato se mantuvieron generalmente cerca del rango óptimo para *C. carpio*, (Tabla 7, 8 y 9). Sin embargo los niveles de carbonato no estuvieron dentro de los rangos ideales (Piper *et al.* 1982; Meade 1985; Lawson 1995. En Timmons *et al.* 2007), si se aplicaba $\text{Na}(\text{CO}_3)_2$ hasta alcanzar la concentración ideal probablemente el pH se volvería muy básico y esto afectaría negativamente el crecimiento de los peces. Aun así, con alcalinidad baja las bacterias realizaron el proceso de nitrificación de manera satisfactoria lo cual se evidenció en la transformación de amonio a nitrito y de nitrito a nitrato (Tabla 5 y 6, 7 y 9).

Para M1 y M2 la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto se mantuvieron dentro de los rangos ideales para la especie, entre 20°C a 27°C y de 3 mg/l a 5 mg/l respectivamente (Horváth *et al.* 2002; Chatterjee *et al.* 2004; Aston 1981. En Timmons *et al.* 2007).

En la tabla 14 se comparan los resultados del crecimiento de *C. carpio* obtenidos en este trabajo con algunos cultivos de carpa en estanque. Para hacer esta comparación se tuvo como supuesto que los estanques de cultivo tenían una 1 m de profundidad; por lo general los estanques utilizados para el levante de dedinos son de 1 - 1,5 m de alto (Mojica y Villaneda *et al.* 2001. En: Anzola *et al.* 2001; CIFA 2010. En: INDG 2010).

Tabla 14. Comparación del cultivo de carpa en SCRA y estanque

	SCRA (M1)	SCRA (M2)	CIFA 2010	Peteri <i>et al.</i> 1992a			Peteri <i>et al.</i> 1992b
Densidad (Ind/m ²)	100	100	30	140 A	30 B	14 C	12,5
litros/Ind	3	3	33	7	33	71,42	80
Alimento	Suplemento (pellet 45%)	Suplemento (pellet 45%)	plancton y suplementos	plancton y suplementos			plancton y suplementos
Tiempo de cultivo (días)	84	84	90	45			45
Peso inicial (g)	1,4	1,3	0,3	0,2			0,7
Peso Final (g)	6,13	10,22	10	1	3	10	19,1
TCA (g/día)	0,06	0,11	0,11	0,02	0,06	0,22	0,41
Sobrevivencia (%)	93	94	70 - 90	78	83	83	91

Al comparar las condiciones de cultivo y el crecimiento entre el ejemplo CIFA 2010 y SCRA se observa que los sistemas de recirculación lograron un crecimiento en peso similar utilizando solamente el 9% (L/ind) del agua utilizada en el cultivo en estanque (sin tener en cuenta los recambios de agua) y con una densidad de siembra superior, 3 veces más individuos por metro cuadrado.

En relación a Peteri *et al.* (1992a **A**), con densidad de siembra inferior, pero utilizando menos agua por individuo, los SCRA mostraron una tasa de crecimiento absoluto (TCA) superior.

Con Peteri *et al.* (1992a **B**), los SCRA presentaron mayor TCA utilizando solamente el 9% (L/ind) del agua utilizada en el cultivo en estanque (sin incluir los recambios) y con una densidad 3 veces mayor.

Teniendo en cuenta el tiempo de cultivo y el peso inicial y final, el crecimiento de las carpas en Peteri *et al.* (1992a **C**) y Peteri *et al.* (1992b) es comparativamente superior al obtenido en los SCRA. Existen varias razones que podrían explicar el por qué de esta diferencia.

Primero la densidad de siembra. En el trabajo de Peteri *et al.* (1992a) se observa claramente que en una misma cantidad de tiempo y bajo las mismas condiciones de cultivo, a medida que la densidad es mayor, el crecimiento de los individuos disminuye significativamente. Esto es debido básicamente a que, a mayor densidad, mayor es la competencia por recursos, entre ellos, la comida. En los cultivos intensivos además de haber una gran competencia por comida también existe una competencia por el consumo de oxígeno, no solo entre peces, sino también con las bacterias que utilizan oxígeno para descomponer la materia orgánica; la continua excreción de amonio y la falta de oxígeno puede causar la muerte de los peces (Timmons *et al.* 2002). Por esta razón comúnmente en los estanques donde se practica piscicultura intensiva es necesario un recambio del 300% del agua al día con el fin de retirar el amonio y oxigenar el cuerpo de agua (Pérez *et al.* 2001; Piscícola Agualinda 2010).

La segunda razón que podría explicar la diferencia en el crecimiento es el suministro comida. En los estanques los peces por lo general tienen acceso a dos fuentes de alimento; los concentrados, los cuales son diseñados con base en los requerimientos alimenticios de los peces (observar las dietas utilizadas en Peteri *et al.* 1992a; Peteri *et al.* 1992b), y la otra fuente de alimento es el plancton; para esto los piscicultores fertilizan los estanques con minerales y materia orgánica con

el fin de promover la proliferación de microcrustáceos, algas y plantas que sirven de alimento para los peces (Peteri *et al.* 1992a; Peteri *et al.* 1992b). Es decir que en un estanque bien fertilizado los peces tienen una fuente continua de plancton, más el concentrado, y si la densidad de siembra es comparativamente baja, la competencia por recursos también lo es.

En los SCRA las carpas no tenían acceso a plancton y no se conoce si el alimento suministrado a *C. carpio* cumplía con todos los requerimientos nutricionales para la especie. El alimento suministrado a los peces en esta investigación es un pellet diseñado para alimentar trucha, sin embargo fue utilizado como alimento, pues entre los productos comerciales asequibles, la truchina[®] (45% PB) posee un alto contenido proteico necesario en los primeros estados de desarrollo (Floyd 2002). La densidad utilizada en esta investigación fue escogida con base en trabajos realizados anteriormente por el grupo de investigación. Martínez (2011) evaluó el efecto de 3 densidades de siembra (40 - 70 - 100) en el crecimiento y supervivencia de otro Ciprínido golfish (*Carassius auratus*) cultivados en SCRA con tanques para peces de 250 L. Martínez encontró que entre las tres densidades no hubo diferencia significativa en el crecimiento y que los parámetros físico – químicos se comportaron de manera similar ($TAN < 1$, $NO_2^- < 0,8$, $NO_3^- 20 - 40$ y pH 4 -7).

Aun que en Peteri *et al.* (1992a **C**) y Peteri *et al.* (1992b) los peces crecieron más rápido, en los SCRA la sobrevivencia fue superior aun cuando la densidad fue 7 y 8 veces mayor, respectivamente, y solo se utilizó 4 % por individuo del agua utilizada en los estanques.

Teniendo en cuenta los resultados de crecimiento y supervivencia de las carpas obtenidos en esta investigación y los observados en los trabajos en estanque citados, se puede observar que en los SCRA diseñados para este proyecto se pueden producir dedinos de carpa con un porcentaje de mortalidad bajo y manejando densidades de siembra altas. Sin embargo, al ser tan pequeños los SCRA construidos en este trabajo, no es posible producir grandes cantidades de peces. Como se menciono anteriormente, los resultados de esta investigación serán aportados para futuros trabajos en cultivos a mayor escala, en los cuales teniendo en cuenta las posibles mejoras en términos de maduración del biofiltro, control del pH y alcalinidad, una mejor alimentación y quizás una densidad de siembra más baja, se podrá producir un mayor número de peces, con una tasa de crecimiento más alta y con todas las ventajas que trae un cultivo en SCRA.

Nuestro país posee la topografía necesaria para la construcción de infraestructura piscícola y recursos hídricos importantes con características físico - químicas adecuadas para usarse en esta actividad (Pérez *et al.* 2001). Sin embargo, no todos los departamentos tienen estas condiciones (IDEAM 2000) lo que hace que la mayoría de las empresas piscicultoras tengan sus cultivos lejos de los centros de consumo. Esta lejanía aumenta el precio del producto puesto que es necesario pagar fletes más caros e invertir en transportes refrigerados (Pérez *et al.* 2001). La disponibilidad per cápita anual de agua en Colombia está disminuyendo a una tasa acelerada, 1000 m³ por año, principalmente debido al crecimiento poblacional y a la alteración de la calidad del agua por contaminación (IDEAM 2000). Según el IDEAM si en los años venideros se mantienen el crecimiento poblacional e industrial actual, los hábitos de uso y consumo vigentes, dentro de 40 años el país presentara graves problemas en suministrar agua dulce a sus habitantes (IDEAM 2008).

El agua utilizada en la piscicultura en estanque está cargada de amonio, abonos, fertilizantes inorgánicos, alimentos y heces de los peces que aumentan la cantidad de materia orgánica y desequilibran el ecosistema natural de las aguas usadas (Pérez *et al.* 2001).

En Peteri *et al.* (1992b) utilizaron estanques de 0,1 ha (1000 m²) con una densidad de siembra de 12,5 ind/m² (12500 individuos en el estanque). Asumiendo que el estanque tuviera 1 m de profundidad y un recambio del 300%, como lo recomienda la bibliografía (Mojica y Villaneda, *et al.* 2001. En: Anzola, *et al.* 2001; CIFA 2010. En: INDG 2010; Piscícola Agualinda 2010), esto implicaría que al día utilizaron 3 millones de litros de agua y 135 millones de litros en los 45 días de cultivo. El promedio de peso alcanzado en este cultivo fue de 10 g/ind, es decir, que los 12500 individuos generaron una biomasa de 125 Kg. En conclusión utilizaron aproximadamente un millón de litros de agua para producir 1Kg de biomasa (135 millones de litros/ 125 Kg).

Aunque en los SCRA también es necesario hacer recambios cuando los niveles de amonio, nitrito y nitrato son altos, los porcentajes de recambio son relativamente bajos (30%) (Timmons *et al.* 2007). En nuestro caso, para los SCRA de M1 fue necesario utilizar aproximadamente 1900 L de agua, de los cuales 300 L permanecían constantemente en los SCRA, es decir que los otros restantes fueron utilizados en reposición de agua por evaporación, en limpieza de los filtros y la bomba, y para disminuir la concentración de TAN cuando era necesario (principalmente las 6 primeras semanas). En este montaje la biomasa promedio

alcanzada fue de 610 g, es decir que para producir 1 kg de biomasa se utilizarían 3114 L. Por otro lado, en M2 se utilizaron solamente 660 L de agua, para realizar las mismas actividades de mantenimiento en cada SCRA, utilizando un total de 960 L durante el mismo periodo de experimentación. Esta reducción en el consumo de agua por parte de M2 es principalmente debida a que en este montaje la concentración de TAN se mantuvo generalmente dentro de los rangos de tolerancia para la especie, disminuyendo de esta manera el uso de recambios de agua. La biomasa promedio alcanzada en M2 fue de 1000g (tabla 11), esto quiere decir que para producir 1 Kg de biomasa se utilizaron 960 L, lo cual difiere enormemente en la cantidad de agua usada por Peteri *et al.* (1992b) y con la invertida en los cultivos piscícolas que tradicionalmente se manejan en estanques de tierra en Colombia (Anzola *et al.* 2001; Pérez *et al.* 2001).

Aun que para construir un SCRA que genere cantidades a nivel comercial, en términos de peces de consumo, es necesaria una inversión importante, sabiendo escoger bien los materiales y equipos, y con la práctica y experiencia suficiente, se pueden generar productos de alta calidad que superen el valor de la inversión realizada y con el tiempo alcanzar una mayor rentabilidad (Timmons *et al.* 2002). Teniendo en cuenta el incremento de la presión sobre el recurso pesquero por el aumento de la demanda de la población, el efecto negativo que tiene la pesca sobre las poblaciones naturales (Pérez *et al.* 2001) y las desventajas que presentan los cultivos en estanque en términos de uso del agua, altos costos por transporte y alta mortalidad por predación y enfermedades, los SCRA pueden convertirse en una alternativa para producir peces de consumo u ornamentales utilizando el agua y el espacio de una manera más amigable y ambientalmente sostenible.

8. CONCLUSIONES

- El mejor crecimiento de *C. carpio* en SCRA se presentó en M2. Los individuos alcanzaron un peso promedio de $10,22 \pm 3,39$ g, longitud estándar $6,6 \pm 0,7$ cm y longitud total $8,2 \pm 0,8$ cm.
- El menor crecimiento presentado por los peces de M1 puede ser atribuido a los bajos niveles de pH y altas concentraciones de amonio observadas en las primeras semanas de cultivo.
- M2 obtuvo mejores parámetros productivos (IP, GP, TCA, FCA, TEA y TEP) que M1. El factor de condición K y la supervivencia no presentaron diferencias significativas entre los montajes.
- La supervivencia de *C. Carpio* en los sistemas cerrados de recirculación de agua fue alta (mayor al 92%).

9. RECOMENDACIONES

- Desarrollar este ensayo por un periodo de tiempo mayor hasta llevar a *C. carpio* a una talla comercial.
- Utilizar otro tipo de carbonato diferente a bicarbonato de sodio, para lograr subir la alcalinidad y dureza sin hacer que el pH se haga muy básico.
- Supervisar con mayor frecuencia la alcalinidad y pH.
- Colocar una biomasa mayor para la maduración del biofiltro.
- Diseñar sistemas de recirculación cerrados de mayor capacidad (volumen y densidad de peces).
- Determinar la Huella hídrica que deja la construcción de un SCRA.

10. BIBLIOGRAFÍA

- ANZOLA E, AVILES M, BELTRAN C, BURBANO C, CARRILLO M, DIAZ F, DORADO M, ERAZO A, ESPEJO C, GALLEGOS F, GONZALES E, GONZALES R, LANDINEZ M, MARTINEZ L, MERINO M, MOJICA H, POLO G, RODRÍGUEZ H, RODRÍGUEZ J, ROSADO R, SALAZAR G, TORRES M, TORRES E, USECHE C, VÁSQUEZ W, VÁSQUEZ C, VILLANADA A & VILLANUEVA M. 2001. Fundamentos de Acuicultura Continental. Ed. Segunda. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura IMPA. Colombia. 243 pp.
- BILLARD R. 1999. Carp: Biology and culture. INRA. Paris. 342 pp.
- BLASIOLA G & BRIDGES M. 2005. Koi: Everything about. Care. Nutrition. Diseases. Pond design and maintenance. And popular aquatic plants. Barron's Educational Series. 96 pp.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. 2010. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Ammonia. In: Canadian environmental quality guidelines. 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment. Winnipeg. Excerpt from Publication No. 1299. 8 pp.
- CASAS D. 2008. Sistema de recirculación de agua para la cría intensiva de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*). Trabajo de Grado. Programa de agronomía. Universidad Centroccidental. 97 pp.
- CHATTERJEE A, MANUSH S & MUKHERJEE T. 2004. Thermal tolerance and oxygen consumption of *Labeo rohita* and *Cyprinus carpio* early fingerlings acclimated to three different temperatures. Journal of Thermal Biology. 29: 265–270
- EBELING J, LOSORDO T & DELONG D. 1993. Engineering design and performance of a model Aquaculture recirculating system (MARS) for secondary school aquaculture education programs. In: Proceedings of the Aquaculture Engineering Conference. Spokane. Washington. USA. 211–220 pp.
- EMERSON K, LUND R, THURSTON R & RUSSO R. 1975. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. J. Fish. Res. Board Can. 32: 2379-2383.
- FAO 2009. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008. Departamento de pesca y acuicultura de la FAO, Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. 196 pp.

- FINE M, ZILBERG D, COHEN Z, DEGANI G, MOAV B & GERTKD A. 1996. The effect of dietary protein level. Water temperature and growth hormone administration on growth and metabolism in the common carp (*Cyprinus carpio*). Comparative Biochemistry and Physiology. 114a:35-42.
- FLOYD R. 2002. Fish nutrition. Institute of food and agricultural sciences. University of Florida. 4 pp.
- HARGREAVES J & TUCKER C. 2004. Managing ammonia in fish ponds. Southern Regional Aquaculture Center. United States Department of Agriculture. 1- 8 pp.
- HERNÁNDEZ M, RAMOS J, PINO JOSÉ & ACOSTA C. 2008. Evaluación de dietas con inclusión de harina de ninfas de *Periplaneta americana* para la alimentación de la carpa japonesa. Ciencia pesquera. 16: 1 -28.
- HORVÁTH L, TAMAS G & SEAGRAVE C. 2002. Carp and pond fish culture. 2 editions. Fishing News Books. 185 pp.
- HUTCHINSON W, MATHEW J, O'SULLIVAN D, CASEMEN D & CLARKE S. 2004. Recirculating Aquaculture Systems: Minimum standards for design. Construction and management. Inland Aquaculture Association of South Australia Inc. 70 pp.
- JENSEN B. 2003. Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. Comparative Biochemistry and Physiology. 135: 9-24.
- KING R, FLICK G, CHAIRMAN J, PIERSON M, SMITH S, BOARDMAN G & COALE C. 2001. The presence of bacterial pathogens in recirculating aquaculture system biofilms and their response to various sanitizers. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. 122 pp.
- KROUPOVA H, MACHOVA J & SVOBODOVA Z. 2005. Nitrite influence on fish: a review. Veterinární Medicina Czech. 50: 461–471.
- LAWSON T. 1995. Fundamentals of aquacultural engineering. Chapman & Hall, N.Y., 355 pp.
- LIAO P & MAYO R. 1974. Intensive fish culture combining water reconditioning with pollution abatement. Aquaculture. 3: 61- 85
- LOSORDO T, MASSER M & RAKOCY J. 1998. Recirculating aquaculture tank. United States Department of Agriculture. 6 pp.
- MARTÍNEZ O. 2011. Determinación del efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de goldfish (*Carassius auratus*) en sistemas cerrados de recirculación de agua. Trabajo de Grado. Programa Biología Aplicada. Universidad Militar Nueva Granada. 32 pp.

- MASSER M, RAKOCY J & LOSORDO T. 1999. Recirculating aquaculture tank production systems. Management of Recirculating Systems. Southern Regional Aquaculture Center. United States Department of Agriculture. 9 pp.
- MEADE J. 1985. Allowable ammonia for fish culture. Prog. Fish. Cult. 47(3):135 – 145.
- MERCADO B, GARCIA J, ROSADO R, OLAYA C, SEGURA F, BRÚ S & TORDECILLA G. 2006. Cultivo de dorada (*Brycon sinuensis* Dahl. 1955) en jaulas flotantes a diferentes niveles de proteína. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 19: 204-211.
- MOJICA H & VILLANEDA A. 2001. Construcción de estanques capítulo 4. en: ANZOLA E, AVILES M, BELTRAN C, BURBANO C, CARRILLO M, DIAZ F, DORADO M, ERAZO A, ESPEJO C, GALLEGU F, GONZALES E, GONZALES R, LANDINEZ M, MARTINEZ L, MERINO M, MOJICA H, POLO G, RODRÍGUEZ H, RODRÍGUEZ J, ROSADO R, SALAZAR G, TORRES M, TORRES E, USECHE C, VÁSQUEZ W, VÁSQUEZ C, VILLANADA A & VILLANUEVA M. 2001. Fundamentos de Acuicultura Continental. Ed. Segunda. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura IMPA. Colombia. 243 pp.
- MONGIRDAS V & KUSTA A. 2006. Oxygen mass balance in a recirculation Aquaculture system for raising European Wels (*Silurus glanis* L.). Ekologija. 4: 58–64
- NELSON R. 2008. Aquaponic food production. Nelson and Pade Inc. 14 – 163 pp.
- NIKOLSKY G. 1963. The ecology of fishes. Academic Press. Londres. 352 pp.
- PÉREZ I, CRUZ P, RINCON R & GARCÍA J. 2001. Diseño, construcción y adecuación de estanques en tierra. Universidad de los Llanos. Primera edición. 22 pp.
- PINEDA R. 1999. Elaboración y evaluación de dietas a partir de harinas de barrilete (*Euthynnus linneatus*) y rasposa (*Haemulon maculiconda*) como alimento de bagre (*Ictalurus punctatus*) en condiciones de laboratorio. Tesis de Maestría. Universidad de Colima. México. 20-22 pp.
- PIPER R, MCELWAIN I, ORNME L, MCCRAREN J, FOWLER L, LEONARD J. 1982. Fish Hatchery management. U.S. Fish and Wildlife service, Washington, D.C.
- PRIMARY INDUSTRIES AND RESOURCES SA (PIR). 1999. Recirculation systems in aquaculture. Aquaculture SA. 10 pp.
- RAMIREZ. A. 1999. Ecología Aplicada. Diseño y Análisis Estadístico. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano.

- RICKER W. 1971. Methods for assesment of fish production in freshwater. International Biological Programme. Hand Book No.3. Blackwell Scientific Publications. Oxford and Edimburg. 348 pp.
- SALAZAR M & OCAMPO D. 2002. Tasa de crecimiento del pez ángel *Pterophyllum scalre* (Perciformes: Chichlidae) en condiciones de laboratorio. Acta Universitaria. 12: 28-33.
- SANDOVAL A. 2010. Evolución de la legislación y la institucionalidad de la pesca y acuicultura colombiana: aportes para el ordenamiento pesquero en el golfo de Urabá. Universidad de Antioquia. 21 pp.
- STICKNEY R. 1993. Principles of aquaculture. New York. NY: John Wiley and Sons. Inc
- SVOBODOVÁ Z, MÁCHOVÁ J, POLESZCZUK G, HUDA J, HAMÁÂKOVÁ J & KROUPOVÁ H. 2005. Nitrite poisoning of fish in aquaculture facilities with water-recirculating systems. Acta Veterinaria Brunensis. 74:129-137.
- TACON A & HASAN M. 2007. Global synthesis of feeds and nutrients for sustainable aquaculture development. Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable Aquaculture development. FAO Fisheries Technical Paper. 497: 3–17.
- TETZLAFF B & HEIDINGER R. 1990. Bulletin. Basic principles of biofiltration and system design. SIUC Fisheries and Illinois Aquaculture Center. 9:1 -18.
- TIMMONS M & EBELING J. 2007. Recirculation aquaculture. NCRA Publication. 1975 pp.
- TIMMONS M, EBELING J, MHEATON F, SUMMERFELT S & VINVI B. 2002. Recirculation aquaculture Sistem. 2 editions. 213 pp.
- TWAROWSKA J, WESTERMAN P & LOSORDO T. 1997. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. Aquacultural Engineering. 16:133 – 147.
- USECHE C. 2001. Policultivos y Cultivo de peces en corrales. Capitulo 18. pp. 379 en: ANZOLA E, AVILES M, BELTRAN C, BURBANO C, CARRILLO M, DIAZ F, DORADO M, ERAZO A, ESPEJO C, GALLEGOS F, GONZALES E, GONZALES R, LANDINEZ M, MARTINEZ L, MERINO M, MOJICA H, POLO G, RODRÍGUEZ H, RODRÍGUEZ J, ROSADO R, SALAZAR G, TORRES M, TORRES E, USECHE C, VÁSQUEZ W, VÁSQUEZ C, VILLANADA A & VILLANUEVA M. 2001. Fundamentos de acuicultura continental. Ed. Segunda. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura IMPA. Colombia. 243 pp.
- VÁSQUEZ W. 2004. Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. Editorial JUAN XXIII. Universidad de los Llanos. 101 pp.

- WALSH P. 1998. EN EVANS D. 1998. The physiology of fishes. Second edition. CRC press LLC. 519 pp.
- YAMAMOTO T, SHIMA T, FURUITA H & SUZUKI N. 2002. Effect of water temperature and short-term fasting on macronutrient self-selection by common carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture. 220 : 655–666
- YILMAZ E, SAHIN A, DURU M & AKYURT I. 2005. The effect of varying dietary energy on growth and feeding behaviour of common carp. *Cyprinus carpio*. under experimental conditions. Applied Animal Behaviour Science. 92: 85–92.
- YOUSEF S, HAFEDH A, AFTAB A & AFAQUE A. 2003. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquacultural Engineering. 29: 139–154.
- ZAR J. 1999. Biostatistical Analysis. 4 edition. Prentice Hall. New Jersey. 663 pp.

Consultas de Internet

- CIFA. Central Institute of Freshwater Aquaculture, Bhubaneswar, Orissa. 2010.<http://www.cifa.in/Default.aspx>. Accedida el 13 de octubre de 2010.
- FAO 2003.<http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/es/COL/body.htm>. Accedida el 1 de marzo de 2009.
- Fishbase. 2009.
<http://www.fishbase.org/Summary/SpeciesSummary.php?id=1450>
Accedida el 1 de marzo de 2009.
- FAO.2010.http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus_carpio/es.
accedida el 13 de octubre de 2010.
- ICA. 2009a. http://www.ica.gov.co/getdoc/4356cc6f-a4fb-408d-a157-ec7f071956e1/Produccion_Acuicultura.aspx. Accedida el 1 de marzo de 2009.
- ICA. 2009b. http://www.ica.gov.co/Areas/pesca_acuicultura.aspx. Accedida el 1 de marzo de 2009.
- IDEAM. 2000. Instituto De Hidrología. Meteorología Y Estudios Ambientales De Colombia. Estudio Nacional del Agua. República de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. pp. 31-39.
<http://www.ideam.gov.co/publica/ena/enatexto.pdf> . accedida el 1 de marzo de 2009.

- IDEAM. 2008. Instituto De Hidrología. Meteorología Y Estudios Ambientales. Informe Sobre Evaluación de los Recursos Hídricos de Colombia. Extracto resumido del Estudio Nacional del Agua. pp. 1-7. <http://www.ideam.gov.co/ColombiaVForo/INFORMEPAISCOLOMBIA.pdf>. Accedida el 1 de marzo de 2009.
- INCODER. 2010. <http://www.incoder.gov.co/> accedida el 19 de noviembre de 2010.
- INDG. India Development Gateway. 2010. <http://www.indg.in/agriculture/fisheries/commercial-production-of-carp-fry-and-fingerlings> . Accedida el 13 de octubre de 2010.
- IMD. India Meteorological Department. 2011. <http://www.imd.gov.in/> Accedida el 08 de febrero de 2011.
- PETERI A. 1987. Development of Fish Seed Production Centre. Gaylegphug. Establishment of Fish Seed Production Centre. Bhutan. 66 pp. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC422E/AC422E06.htm> Accedida el 13 de octubre de 2010.
- PETERI A, NANDI S & CHOWDOWDHURY S. 1992a. Manual on seed production of carps. Institutional Strengthening in the Fisheries Sector. Bangladesh. 61 pp. <http://www.fao.org/docrep/field/003/ac376e/AC376E02.htm> Accedida el 13 de octubre de 2010.
- PETERI A, NANDI S & CHOWDOWDHURY S. 1992b. Development of large size carp fingerling production technology. Institutional Strengthening in the Fisheries Sector. Bangladesh. 20 pp. <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC377E/AC377E00.htm#TOC>. Accedida el 13 de octubre de 2010
- Piscícola Agualinda. 2010. http://www.piscicolaagualinda.com/dcto/RECOMENDACIONES_MANEJO_ESTANQUES_PISCICOLA.pdf. Accedida el 23 de noviembre de 2010.
- WMO. World Meteorological Organization. 2011a. <http://worldweather.wmo.int/141/c01167.htm>. Accedida el 08 de febrero de 2011.
- WMO. World Meteorological Organization. 2011b. <http://worldweather.wmo.int/141/c01166.htm>. Accedida el 09 de febrero de 2011.